

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.12 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система электроснабжения механического цеха инструментального завода

УДК 658.26:621.735.5.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Б	Тожиев Л.У.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Паюк Л.А.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех А.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОЭЭ	Тютеева П.В.	к.т.н., доцент		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) 13.03.12 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Тютеева П.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Б	Тожиев Лочинбек Улугбек угли

Тема работы:

Система электроснабжения механического цеха инструментального завода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 14.02.19г. №1161/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	4.06.19г.
------------------------------------------	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является ремонтно-механический цех инструментального завода. В качестве исходных данных представлены:</p> <ul style="list-style-type: none"> - генеральный план предприятия; - план ремонтно-механического цеха; - сведения об электрических нагрузках всего предприятия; - сведения об электрических нагрузках ремонтно-механического цеха.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом; - моделирование электроснабжения ремонтно-механического цеха; - разработка раздела «Финансовый менеджмент»; - ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - схема расположения ГПП и цеховых ТП с картограммой электрических нагрузок базы; - однолинейная схема внешнего электроснабжения базы; - однолинейная схема электроснабжения инструментального завода электрооборудования; - эпюры отклонений напряжения.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Мелик-Гайказян Мария Вигеновна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Фех Алина Ильдарововна</p>
<p></p>	<p></p>
<p></p>	<p></p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p></p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>14.02.19г</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н., доцент		
Старший преподаватель	Паюк Л.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Б	Тожиев Л.У.		

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Б	Тожиев Лочинбек Улугбек угли

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностные оклады профессорско-преподавательского состава ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	Действующая сметы налогообложения

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование комплекса работ (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности работы)	Расчет временных показателей проведение технического проекта. Построения диаграмма Ганта;
2. Определение трудоемкости выполнения работ	
3. Расчет сметы для технического проекта	Расчет коэффициентов: весовой коэффициент, коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.
4. Определение ресурсосберегающей эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта
2. Смета затрат ТП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.19г
------------------------------------------------------	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Б	Тожиев Лочинбек Улугбек угли		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г5Б	Тожиев Лочинбек Улугбек угли

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Система электроснабжения механического цеха инструментального завода	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования.	Научно-техническая работа направлена на расчет системы электроснабжения механического цеха инструментального завода и разработку модели электроснабжения цеха., реализованная в программная приложения Matlab Simulink.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля; СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при разработке математической модели и эксплуатации оборудования: - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень шума на рабочем месте; - неудовлетворительный микроклимат; - повышенный уровень напряженности электростатического поля;

	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); – решение по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.19г
------------------------------------------------------	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г5Б	Тожиев Лочинбек Улугбек угли		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (специальность) 13.03.12 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	4.06.19г.
------------------------------------------	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.19	Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет нагрузок цеха.	10
22.02.19	Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра эл. нагрузок.	10
07.03.19	Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.	10
18.03.19	Выбор и проверка внутризаводских линий. Расчет потерь в ТП и внутризаводских линиях. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП. Выбор и проверка питающих линий ГПП.	10
26.03.19	Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских линий по токам КЗ.	8
04.04.19	Выбор и проверка высоковольтного оборудования	7
11.04.19	Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1000В. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В. Выбор аппаратов защиты. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.	10
25.04.19	Моделирование электроснабжения ремонтно-механического цеха.	15
16.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
19.05.19	Социальная ответственность.	10
Итого		100

СОСТАВИЛ:**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н., доцент		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Паюк Л.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютёва П.В.	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.
Профессиональные компетенции	
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P8	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P9	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 125 с., 17 рис., 43 табл., 35 источников, 3 приложений.

Ключевые слова: система электроснабжения, ремонтно-механический цех, расчетная нагрузка, инструментальный завод, картограмма нагрузок, трансформаторы, ток короткого замыкания, обрыв фазы, финансовый менеджмент, социальная ответственность.

Объектом исследования является ремонтно-механический цех инструментального завода.

Предмет исследования – электроснабжение ремонтно-механического цеха в условиях обрыва фазы питающего напряжения 0,4 кВ.

Цель работы – разработка системы электроснабжения инструментального завода и моделирование электроснабжения ремонтно-механического цеха в программе Matlab Simulink.

В процессе выполнения работы произведен поэтапный расчет электрических нагрузок предприятия в целом и рассматриваемого цеха, выбор основного оборудования, а также произведена проверка выбранного оборудования по ремонтпригодности. По полученным расчетам построили модель электроснабжения ремонтно-механического цеха в программе Matlab Simulink.

В результате исследования была спроектирована система электроснабжения ремонтно-механического цеха инструментального завода, проверили регулирования напряжения при изменении коэффициента трансформации в диапазоне $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ с шагом 1% и изменения напряжений при обрыве фазного провода электропередачи 10 кВ в электрической сети напряжением 10/0,4 кВ с трансформатором со схемой соединения обмоток [14] звезда с нулем - звезда с нулем в построенной модели электроснабжения ремонтно-механического цеха в программе Matlab Simulink.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемый завод состоит из 14 цехов, из них два цеха относятся к первой категории по степени надежности электроснабжения, напряжение питающей линии 35 кВ, рабочие напряжения внутри завода 10 и 0,4 кВ [1].

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	15
ГЛАВА 1. КАТЕГОРИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	17
1.1. Первая категория	17
1.2. Вторая категория	18
1.3. Третья категория	19
1.4. Максимальное допустимое число часов отключения в год и сроки восстановления энергоснабжения	19
1.5. Разделение потребителей на категории	20
1.6. Характеристика среды производственных помещений инструментального завода.	21
ГЛАВА 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	23
2.1. Описание технологического процесса инструментального завода	23
Завод изготавливает следующие продукции:	23
2.2. Исходные данные	24
2.3. Выбор схемы электроснабжения и расчёт нагрузок ремонтно- механического цеха.....	26
2.3.1. Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.....	31
2.3.2. Картограмма и определение центра электрических нагрузок.	35
2.3.3. Выбор числа мощности трансформаторов цеховых подстанций.	37
2.4. Схема внешнего электроснабжения.	39
2.4.1. Выбор сечения и проверка линии, питающей ГПП.....	41
2.4.2. Построение суточного графика нагрузки.....	43
2.5. Схема внутризаводской сети 10 кВ.	45
2.5.1. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.....	48
2.5.2. Расчет токов КЗ	49
2.5.3. Проверка сечений КЛ на термическую стойкость к токам КЗ.....	52

2.5.4. Выбор высоковольтного аппаратов.....	54
2.5.5. Выбор трансформаторов собственных нужд	56
2.6. Электроснабжение цеха	57
2.6.1. Выбор силовых распределительных пунктов	58
2.6.2. Выбор автоматических выключателей.....	59
2.6.3. Выбор сечений питающей сети ремонтно-механического цеха	64
2.6.4. Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее удаленного и мощного ЭП.	68
2.6.4.2. Рассчитаем нагрузки минимального режима.....	70
2.6.4.3 Нагрузки послеаварийного режима.	70
2.6.5. Расчет режимов.....	71
2.6.6. Расчёт токов КЗ в сети ниже 1000 В.....	74
ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	78
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ И СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	87
4.1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	87
4.1.1. SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха.....	87
4.1.2. Организация работ технического проекта	90
4.1.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования	91
4.1.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП	93
4.1.2.3. Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей.....	93
4.1.2.4. Разработка графика проведения технического проекта	95
4.1.3. Расчёт затрат на осуществление технического проекта.....	95
4.1.3.1. Расчет полной заработной платы исполнителей темы	96
4.1.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	98
4.1.3.3. Накладные расходы	98

4.1.3.4. Формирование сметы затрат технического проекта.....	98
4.1.3.5. Определение ресурсоэффективности проекта	99
4.2. Социальная ответственность	102
4.2.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	102
4.2.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	103
4.2.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	104
4.2.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	105
4.2.3. Экологическая безопасность.....	110
2.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	110
4.2.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	111
4.2.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	111
4.2.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	113
Вывод по разделу	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	118
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	120
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	123
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	124
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	125

ВВЕДЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрен вопрос моделирования электроснабжения ремонтно-механического цеха, а именно, спроектировано электроснабжение инструментального завода в программной среде Matlab Simulink. Усовершенствование системы электроснабжения ремонтно-механического цеха является актуальной задачей для улучшения системы электроснабжения инструментального завода. Для этого необходимо сделать следующее: обеспечить удобство и безопасность обслуживания системы электроснабжения; требуемое качество электроэнергии в нормальном и послеаварийных режимах работы; экономичность и эргономичность. В связи с этим, для выполнения вышеуказанных требований, необходимо, на стадии моделирования проверить качество обеспечения системы электроснабжения. Рассматриваемый инструментальный завод имеет в своем составе нагрузки I, II, и III категории по степени надежности электроснабжения. В состав завода входят различные цеха, каждый выполняет свою роль [8], поставленную администрацией предприятия в соответствии с технологическим процессом.

Целью данной работы является предотвратить обрыв фазы в стороны 0,4 кВ; увеличить качества электроснабжения и ремонтпригодность электрооборудование с питающим 380 В, ремонтно-механического цеха инструментального завода.

Во время выполнения работы были рассмотрены следующие разделы:

- Проектирование электроснабжения инструментального завода, ремонтно-механического цеха и расчет их нагрузок.
- Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов и трансформаторов ГПП.
- Выбор высоковольтной схемы внутризаводской сети, подбор и проверка высоковольтного оборудования.
- Выбор и проверка внутризаводских линий и аппаратов защиты.

- Создание модели электроснабжения ремонтно-механического цеха в программной среде Matlab Simulink, учитывающие несимметрию питающего напряжения 0,4 кВ.
- Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения с полученными данными с модели.

ГЛАВА 1. КАТЕГОРИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Согласно Правила устройства электроустановок (ПУЭ), все потребители электрической энергии условно разделяют на три категории (группы), в зависимости от их важности. В данном случае идет речь о том, насколько надежным должно быть энергоснабжение потребителя с учетом всех возможных факторов. Приведем характеристики каждой из категорий электроснабжения потребителей и соответствующие требования относительно надежности их питания [5].

1.1. Первая категория

К первой категории электроснабжения относятся наиболее важные потребители, перерыв в электроснабжении которых может привести к несчастным случаям, крупным авариям, нанесению большого материального ущерба по причине выхода из строя целых комплексов оборудования, взаимосвязанных систем. К таким потребителям относятся:

- горнодобывающая, химическая промышленность и др. опасные производства;
- важные объекты здравоохранения (реанимационные отделения, крупные диспансеры, родильные отделения и пр.) и других государственных учреждений;
- котельные, насосные станции первой категории, перерыв в электроснабжении которых приводит к выходу из строя городских систем жизнеобеспечения;
- тяговые подстанции городского электрифицированного транспорта;
- установки связи, диспетчерские пункты городских систем, серверные помещения;
- лифты, устройства пожарной сигнализации, противопожарные устройства, охранная сигнализация крупных зданий с большим количеством находящихся в них людей.

Потребители данной категории должны питаться от двух независимых источников питания - двух линий электропередач, питающихся от отдельных силовых трансформаторов. Наиболее опасные потребители могут иметь третий независимый источник питания для большей надежности. Перерыв в электроснабжении потребителей первой категории разрешается только лишь на время автоматического включения резервного источника питания [5].

В зависимости от мощности потребителя, в качестве резервного источника электроснабжения может выступать линия электрической сети, аккумуляторная батарея либо дизельный генератор.

ПУЭ определяет независимый источник питания как источник, на котором сохраняется напряжение в послеаварийном режиме в регламентированных пределах при исчезновении его на другом источнике питания. К числу независимых источников питания относятся две секции или системы шин одной или двух электростанций или подстанций при одновременном соблюдении, следующих двух условий:

- каждая из секций или систем шин в свою очередь имеет питание от независимого источника питания,
- секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающийся при нарушении нормальной работы одной из секций (систем) шин.

1.2. Вторая категория

Ко второй категории снабжения относятся потребители, при отключении питания которых, останавливается работа важных городских систем, на производстве возникает массовый брак продукции, есть риск выхода из строя крупных взаимосвязанных систем, циклов производства [5].

Помимо предприятий, ко второй категории электроснабжения относятся:

- детские заведения;
- медицинские учреждения и аптечные пункты;

- городские учреждения, учебные заведения, крупные торговые центры, спортивные сооружения, в которых может быть большое скопление людей;
- все котельные и насосные станции, кроме тех, которые относятся к первой категории.

Вторая категория электроснабжения предусматривает питание потребителей от двух независимых источников. При этом допускается перерыв в электроснабжении на время, в течение которого обслуживающий электротехнический персонал прибывает на объект и выполнит необходимые оперативные переключения [5].

1.3. Третья категория

Третья категория электроснабжения потребителей включает в себя всех оставшихся потребителей, которые не вошли в первые две категории. Обычно это небольшие населенные пункты, городские учреждения, системы, перерыв в электроснабжении которых не влечет за собой последствий. Также к данной категории относят многоквартирные жилые дома, частный сектор, дачные и гаражные кооперативы [5].

Потребители третьей категории получают питание от одного источника питания. Перерыв в электроснабжении потребителей данной категории, как правило, не более суток - на время выполнения аварийно-восстановительных работ [5].

При разделении потребителей на категории учитывается множество факторов, оцениваются возможные риски, выбираются наиболее надежные и оптимальные варианты.

1.4. Максимальное допустимое число часов отключения в год и сроки восстановления энергоснабжения

Вопросы электрообеспечения, включая надежность электроснабжения, определяются в договоре потребителя с субъектом электроэнергетики. В

договоре устанавливают допустимое число часов отключения в год и сроки восстановления электроснабжения (это фактически допустимая продолжительность перерыва питания по ПУЭ) [5].

Для I и II категорий надежности допустимое число часов отключения в год и сроки восстановления энергоснабжения определяются сторонами в зависимости от конкретных параметров схемы электроснабжения, наличия резервных источников питания и особенностей технологического процесса потребителя, но не могут быть более соответствующих величин, предусмотренных для III категории надежности, для которой допустимое число часов отключения в год составляет 72 ч (но не более 24 ч подряд, включая срок восстановления энергоснабжения) [5].

1.5. Разделение потребителей на категории

Разделение потребителей на категории в первую очередь позволяет правильно спроектировать тот или иной участок электросети, связать его с объединенной энергосистемой. Основная цель - построить максимально эффективную сеть, которая с одной стороны должна осуществлять в полной мере потребности в электроснабжении всех потребителей, удовлетворять требованиям по надежности электроснабжения, а с другой стороны быть максимально упрощенной с целью оптимизации средств на обслуживание и ремонт сетей.

В процессе эксплуатации электрических сетей разделение потребителей на категории электроснабжения позволяет сохранить стабильность работы объединенной энергосистемы в случае возникновения дефицита мощности по причине отключения блока электростанции либо серьезной аварии в магистральных сетях. В данном случае работают автоматические устройства, отключающие от сети потребителей третьей категории, а при больших дефицитах мощности - второй категории [5].

Данные меры позволяют оставить в работе наиболее важных потребителей первой категории и избежать техногенных катастроф в масштабах регионов, гибели людей, аварий на отдельных объектах, материального ущерба.

В отечественных системах электроснабжения наиболее часто используется принцип горячего резерва: мощность трансформаторов ТП, ГПП (и пропускная способность всей цепи питания к ним) выбирается большей, чем этого требует поддержание нормального режима, для обеспечения электроснабжения электроприемников I и II категории в послеаварийном режиме, когда одна цепь питания отказывает в результате аварии.

Холодный резерв, как правило, не используется (хотя более выгоден по суммарной пропускной способности), так как предусматривает автоматическое включение под нагрузку элементов сети без предварительных испытаний [5].

1.6. Характеристика среды производственных помещений инструментального завода. Категории электроприемников по бесперебойности электроснабжения

В данном проекте рассматривается электроснабжение ремонтно-механического цеха в целом инструментальный завод. Завод состоит из 14 производственных помещений, к которым относятся производственные и вспомогательные цеха, а также заводоуправления.

Характеристики внешней среды (температура, влажность, наличие взрыво- или пожароопасных зон) могут влиять не только на конструктивное исполнение оборудования, но и на выбор марок и сечений проводов, кабелей и защитной аппаратуры. Производственный процесс на проектируемом заводе характеризуется нормальными условиями, но некоторые из отделений цехов завода могут быть отнесены к жарким и влажным помещениям, а также к помещениям с химически активной средой. Характеристика среды основных производственных помещений по заводу представлена в таблице 1.

Перерыв электроснабжения электроприемников основного производства инструментального завода может привести к массовому недоотпуску продукции и простою людей, поэтому электроприемники основного производства можно отнести ко II категории. Вспомогательные цеха и подразделения, прямо не участвующие в создании продукции предприятия, можно отнести ко III

категории. Классификация основной доли электроприемников инструментального завода по бесперебойности электроснабжения приведена в таблице 1.

ГЛАВА 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

2.1. Описание технологического процесса инструментального завода

Основной функцией инструментального производства является обеспечение предприятия инструментом и оснасткой, такой как, штампы, пресс-формы, режущий и мерительный инструмент. Развитие основного производства завода потребовало развития и инструментального производства. На сегодняшний день инструментальный цех имеет все необходимое оборудование для решения самых сложных задач в изготовлении инструмента и технологической оснастки. В приоритетных задачах завода является дальнейшее развитие инструментального производства.

Инструментальное производство нашего предприятия разбито на три основных участка;

1. Заготовительный участок (обеспечение производства заготовками и черновая обработка).
2. Участок режущего и мерительного инструмента (изготовление нестандартного режущего инструмента, калибров, шаблонов, кондукторов).
3. Участок штампов и пресс-форм (изготовление штампов и пресс-форм).

Основными задачами технологического отдела инструментального производства являются:

1. Разработка технологических процессов изготовления продукции.
2. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ.
3. Планирование производства.

Завод изготавливает следующие продукции:

1. Изготовление специального режущего и мерительного инструмента; фрезы, развертки, протяжки, кондуктора, калибры и шаблоны разного назначения.
2. Изготовление штампов средних и мелких размеров; вырубных, гибочных, формовочных, совмещенного и последовательного действия.

3. Изготовление нестандартных приспособлений.
4. Любые виды механической обработки на имеющемся оборудовании.

2.2. Исходные данные

Целью исследования является разработка системы электроснабжения инструментального завода, генеральный план которого изображен на рисунке 1.

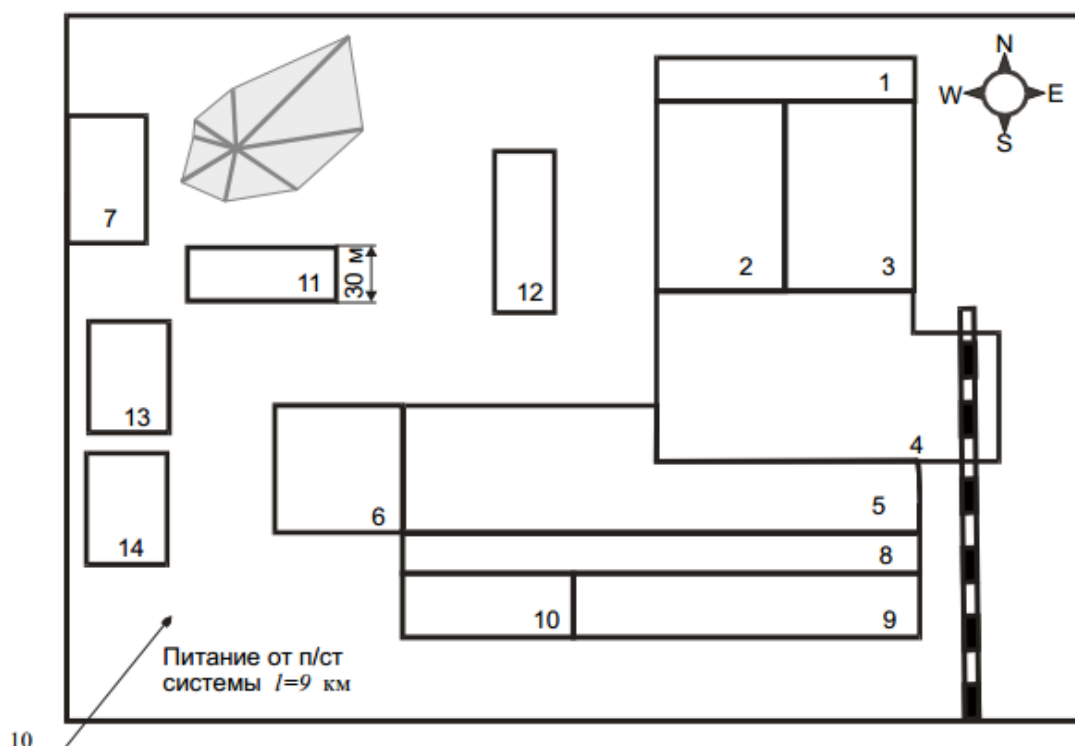


Рисунок 1 – Генеральный план инструментального завода

Таблица 1– Сведения об электрических нагрузках по цехам инструментального завода

№	Наименование цеха	Характеристика среды	Категория электроснабжения	Установленная мощность, кВт
1	Термическое отд.1	пыльная, жаркая	II	900
2	Заготовительный	шумная	II	700
3	Сверлильный	шумная, пыльная	II	800
4	Цех плашек	шумная	III	900
5	Цех метчиков	шумная	III	290
6	Деревообрабатывающий	шумная, пыльная	III	140
7	Ремонтно-механический	пыльная, жаркая	III	669

Продолжение таблицы 1

8	Термическое отд.2		пыльная, жаркая	II	700
9	Испытательная станция		шумная, жаркая	II	120
10	Кузнечный		жаркая	III	700
11	Склад		нормальная	III	180
12	Заводоуправление		нормальная	III	300
13	Насосная		влажная, шумная	II	300
14	Компрессорная	10 кВ(СД)	шумная	II	2500
		0,38 кВ			125

Как видно в таблицы 1 представлена характеристика внешней среды производственных помещений инструментального завода и бесперебойности электроснабжения основных производств [9].

План ремонтно-механического цеха представлена на рисунке 2.

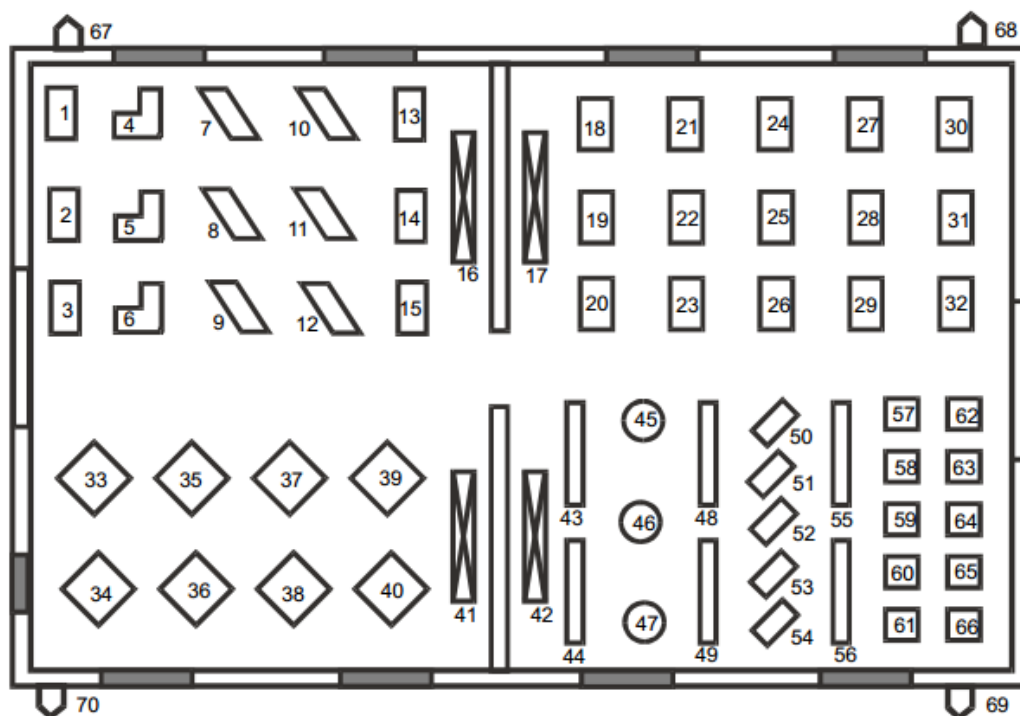


Рисунок 2 – План ремонтно-механического цеха

Ведомость нагрузок ремонтно-механического цеха, а также коэффициенты использования ЭП и активной мощности приведены в таблице 2

Таблица 2 – Ведомость нагрузок ремонтно-механического цеха

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт
1-3, 13-15	Токарно-винторезный станок	4,5
4-6	Трубогибочный станок	6,0
7-9	Пресс-ножницы	3,7
10-12	Пресс листогибочный	16,4
16, 17, 41, 42	Кран-балка, ПВ=40%	14
18-26	Токарно-винторезный станок	3,3
27-32	Токарно-винторезный станок	10,6
33-36	Универсальный круглошлифовальный станок	5,0
37-40	Внутришлифовальный станок	6,6
43, 44	Молот пневматический	7,0
45-47	Электродпечь сопротивления	28
48, 49	Молот пневматический	13
50-54	Печь муфельная	2,4
55, 56	Сварочный агрегат, ПВ=50%	22
57-61	Транс. Сварочный, ПВ=40%	16
62, 63	Преобразователь сварочный	14,5
64-66	Машина электросварочная точечная	24
67-70	Вентилятор	11

2.3. Выбор схемы электроснабжения и расчёт нагрузок ремонтно-механического цеха

В соответствии с заданием на курсовое проектирование, необходимо рассчитать расчётную нагрузку ремонтно-механического цеха методом коэффициента расчётной активной мощности. Для этого в первую очередь необходимо выбрать схему электроснабжения цеха.

Схема внутрицеховой сети определяется технологическим процессом производства, планировкой помещения цеха, взаимным расположением ТП.

ЭП и вводов питания, расчетной мощностью, требованиями бесперебойности ЭС, технико-экономическими соображениями, условиями окружающей среды. Наиболее распространенным для цеховых сетей является напряжение 380 В (четырёхпроводные системы с заземленной

нейтралью). Так как окружающая среда в ремонтно-механическом цехе не оказывает вредного влияния на электросети (отсутствует технологическая пыль, газы или пары, способные нарушать нормальную работу оборудования, относительная влажность не превышает 60% при 20 °С), то среда помещения цеха является нормальной [1].

Так как в цехе нет ограничений по окружающей среде и технологии производства, то принимаем магистральную схему питания ЭП.

Результаты расчёта значения расчётной мощности ремонтно-механического цеха приведены в таблице 3.

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников определяется по формуле (далее приводится расчет для трубогибочного станка) [9]:

$$P_{см} = K_u \cdot P_{ном} = 0,14 \cdot 18 = 2,52 \text{ кВт}$$

Для кран-балки, ПВ = 40%:

$$P_{см} = K_u \cdot P_{насп} \cdot \sqrt{ПВ} = 0,35 \cdot 35,6 \cdot \sqrt{0,4} = 12,46 \text{ кВт}$$

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников определяется по формуле [8]:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2,52 \cdot 1,73 = 4,4 \text{ кВар}$$

K_u и $\cos \varphi$ для каждого ЭП или группы ЭП принимаются по справочным данным. Средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле (для группы А) [9]:

$$K_{u.cр} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном\Sigma}} = \frac{109,5}{474,3} = 0,23$$

где $\sum P_{см}$ - суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену группы электроприемников цеха, кВт;

$\sum P_{ном\Sigma}$ - суммарная установленная мощность группы электроприемников цеха, кВт.

Коэффициент максимума активной мощности определяется по кривым в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования $K_{и.ср}$ и эффективного числа электроприемников $n_э$ для данной группы [9]:

$$n_э = \frac{\left(\sum_1^n P_{ном}\right)^2}{\sum_1^n P_{ном}^2}$$

При большом числе ЭП рекомендуется пользоваться упрощенными способами вычисления допустимая погрешность которых лежит в пределах $\pm 10\%$.

а) при $m = \frac{P_{ном.мах}}{P_{ном.мин}} > 3$ и $K_{и.гр} \geq 0,2$ $n_э$ может быть определено по

формуле:

$$n_э = \frac{2\sum_1^n P_{ном}}{\sum_1^n P_{ном.мах}} \quad \text{где } P_{ном.мах}, P_{ном.мин} - \text{номинальные активные}$$

мощности наибольшего и наименьшего электроприемников в группе (наш случай);

$$n_э = \frac{2\sum_1^n P_{ном}}{\sum_1^n P_{ном.мах}} = \frac{2 \cdot 474,3}{23} = 41,24$$

Принимаем $n_э = 10$

б) при $m > 3$ и $K_{и.ср} < 0,2$ эффективное число ЭП определяется с помощью кривых;

в) при $m \leq 3$ и любом значении $K_{и.ср}$ допускается принимать $n_э$, где n - исходное число ЭП. При определении величины $n_э$ могут быть исключены из расчета те наименьшие ЭП группы, суммарная номинальная мощность которых не превышает 5% суммарной мощности всей группы (при этом число исключенных ЭП не учитывается также и в величине n) [9].

Расчетные активная (P_M) и реактивная (Q_M) мощности группы приемников с переменным графиком нагрузки определяются из выражений (для группы А):

$$P_M = K_M \cdot P_{сМ} = 1,27 \cdot 109,5 = 139,1 \text{ кВт};$$

$$Q_M = Q_{CM} \text{ при } n_{\Sigma} > 10$$

$$Q_M = 174,46 \text{ кВар}$$

Примечание. Величина K_M находится по кривым $K_M = f(n_{\Sigma})$ для различных средневзвешенных значений коэффициента использования $K_{и.ср}$ или по таблице.

Для ЭП с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная нагрузка принимается равной средней мощности за наиболее загруженную смену $P_M = P_{CM}$.

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{p.o.} = P_{н.o.} \cdot K_{co} = 25,2 \cdot 0,95 = 23,94 \text{ кВт}$$

K_{co} принимается по справочным данным. Величина $P_{н.o.}$ находится как:

$$P_{н.o.} = P_{уд.o.} \cdot F = 8,0 \cdot 3150 = 25,2 \text{ кВт}$$

где $P_{уд.o.}$ удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м² (для люминесцентные лампы типа ЛБ40).

F - площадь цеха, м² (определяется по генплану).

Полная максимальная нагрузка цеха (с учетом освещения) определяется:

$$S_M = \sqrt{(P_{p.o.} + P_M)^2 + Q_M^2} = \sqrt{(23,94 + 268,6)^2 + 252,16^2} = 400,02 \text{ кВА}$$

Расчётный ток:

$$I_P = \frac{S_M}{\sqrt{3}U_H} = \frac{400,02}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 607,77 \text{ А}$$

Пиковый ток:

$$I_{\Pi} = i_{\Pi.M} + (I_P - K_{и} \cdot i_{НОМ.M}) = 189,48 + (607,77 - 0,35 \cdot 63,16) = 775,14 \text{ А}$$

где $i_{\Pi.M}$, $i_{НОМ.M}$, $K_{и}$ - соответственно наибольший из пусковых токов двигателей в группе; его номинальный ток и коэффициент использования (машина электросварочная точечная аппарат с номинальной мощностью 24 кВт).

Таблица 3 - Определение расчетных нагрузок ремонтно-механического цеха

№ п/п	Наименование узлов питания и групп эл.приемников	Количество ЭП n	Уст мощность, пр к ПВ=100%		$m = P_{н.макс} / P_{н.мин}$	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos \varphi \backslash \operatorname{tg} \varphi$	Ср. наг. за макс заг. смену		Эффективное число ЭП $n_{э}$	Коэффициент Максимума $K_{м}$	Максимальная нагрузка			Расчетные токи $I_{м} / I_{н}$
			Одного ЭП, $P_{н}$, кВт	Общ. $P_{н}$, кВт				$P_{см} = K_{и} * P_{н}$ кВт	$Q_{см} = P_{см} * \operatorname{tg} \varphi$ кВт			$P_{м} = K_{м} * P_{см}$, кВт	$Q_{м} = Q_{см}$ кВАр	$S_{м}$ кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Приемники группы А														
1	Токарно-винторезный станок	21	3,3-10,6	120,3	3,2	0,14	0,5/1,73	16,84	29,1						
2	Трубогибочный станок	3	6,0	18	1	0,14	0,5/1,73	2,52	4,4						
3	Кран-балка, ПВ = 40%	4	8,9	35,6	1	0,35	0,5/1,73	12,46	21,56						
4	Универсальный крутло шлифовальный станок	4	5,0	20	1	0,14	0,5/1,73	2,8	4,8						
5	Внутришлифовальный станок	4	6,6	26,4	1	0,14	0,5/1,73	3,7	6,4						
6	Сварочный агрегат, ПВ = 50%	2	15,6	31,2	1	0,3	0,35/2,67	9,36	25						
7	Трансформатор сварочный, ПВ = 40%	5	10,1	50,5	1	0,2	0,35/2,67	10,1	27						
8	Пресс-ножницы	3	3,7	11,1	1	0,2	0,65/1,15	2,22	2,6						
9	Пресс листогибочный	3	16,4	49,2	1	0,25	0,65/1,15	12,3	14,1						
10	Молот пневматический	4	7-13	40	1,85	0,3	0,65/1,15	12	13,8						
11	Машина электросварочная точечная	3	24	72	1	0,35	0,7/1,02	25,2	25,7						
	Итого по группе А:	56	3,3-24	474,3	>3	0,23	-	109,5	174,46	44	1,27	139,1	174,46		
	Приемники группы Б														
12	Электропечь сопротивления	3	28	84	-	0,8	0,95/0,33	67,2	22,2						
13	Печь муфельная	5	2,4	12	-	0,75	0,35/2,67	9	24						
14	Преобразователь сварочный	2	14,5	29	-	0,7	0,95/0,33	20,3	6,7						
15	Вентилятор	4	11	44	-	0,75	0,8/0,75	33	24,8						
16	Итого по группе Б:	14	2,4-28	169	-	-	-	129,5	77,7	-	1	129,5	77,7		
	Итого силовая нагрузка по цеху (группе А и Б)	70	2,4-28	643,3	-	-	-	239	252,16	-	-	268,6	252,16		
	Электрическое освещение	-	-	25,2	-	$K_{с} = 0,95$	-	23,94	-	-	-	23,94	-		
	Итого по цеху:	-	-	668,5	-	-	-	262,94	252,16	-	-	310,5	252,16	400,02	608/ 775

2.3.1. Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.

Расчетная полная мощность предприятия определяется по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1000 В) с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП и потерь в высоковольтных линиях [2].

Расчетная нагрузка (активная и реактивная) силовых приемников цехов (кроме рассмотренного) определяются из соотношений:

$$P_p = K_c \cdot P_H = 0,7 \cdot 668,5 = 467,95 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 467,95 \cdot 0,75 = 350,96 \text{ кВар}$$

где P_H - суммарная установленная мощность всех приемников цеха;

K_c - коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным:

$\operatorname{tg} \varphi$ - принимается по соответствующему значению коэффициента мощности.

Приемники напряжением выше 1000 В учитываются отдельно. Расчетная активная и реактивная мощности групп приемников выше 1000 В. определяются по вышеприведенным формулам.

Примеры определения расчетных силовых и осветительных нагрузок по цехам предприятия показаны в таблицах 2 и 3.

Так как трансформаторы цеховых подстанций и высоковольтная сеть еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них можно определить из выражений:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 4617,8 = 92,35 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 4617,8 = 461,77 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{Л}} = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 4617,8 = 138,53 \text{ кВт}$$

где S_p^H - расчетная мощность предприятия на шинах напряжением до 1000 В за максимально загруженную смену.

Суммарные расчетные активная и реактивная мощности, отнесенные к шинам 10 кВ ГПП, определяются из выражений:

$$P_{p\Sigma} = \left(\sum P_p^H + \sum P_p^B \right) \cdot K_{p.m.} + P_{p.o.} + \Delta P_T + \Delta P_L =$$

$$= (3070,5 + 875) \cdot 0,95 + 23,94 + 92,35 + 138,53 = 4003,05 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma} = \left(\sum Q_p^H + \sum Q_p^B \right) \cdot K_{p.m.} + \Delta Q_T =$$

$$= (2435,83 + 892,5) \cdot 0,95 + 461,77 = 3623,68 \text{ кВар}$$

где $K_{p.m.}$ - коэффициент разновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроприемников, принимаемый в пределах 0,9-0,95.

Потери мощности в трансформаторах ГПП определяются:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 5399,58 = 108 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{T.ГПП} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 5399,58 = 540 \text{ кВар}$$

где

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{\left(P_{p\Sigma} \right)^2 + \left(Q_{p\Sigma} \right)^2} = \sqrt{(4003,05)^2 + (3623,68)^2} = 5399,58 \text{ кВА}$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП определяется:

$$S_{p.ГПП} = \sqrt{\left(P_{p\Sigma} + P_{T.ГПП} \right)^2 + \left(Q_{p\Sigma} + Q_{T.ГПП} - Q_{ky} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{(4003,05 + 108)^2 + (3623,68 + 540 - 2662,95)^2} = 4376,4 \text{ кВА}$$

где Q_{ky} - мощность компенсирующих устройств.

$$Q_{ky} = Q_{p\Sigma} - Q_c = 3623,68 - 960,73 = 2662,95 \text{ кВар}$$

где Q_c - наибольшее значение реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 4003,05 = 960,73 \text{ кВар}$$

Для предприятий, расположенных в Сибири:

$\alpha = 0,24$, для величина напряжения питающей линии 35 кВ [9].

Таблица 4 - Определение расчетных нагрузок по цехам завода

№ по ген. Плану	Наименование потребителей	Силовая нагрузка					
		P_n , кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВар
1	2	3	4	5	6	7	8
Потребители электроэнергии 0,38 кВ							
1	Термическое отд.1	900	0,6	0,75	0,88	540	475,2
2	Заготовительный	700	0,3	0,8	0,75	210	157,5
3	Сверлильный	800	0,3	0,8	0,75	240	180
4	Цех плашек	900	0,3	0,8	0,75	270	202,5
5	Цех метчиков	290	0,3	0,8	0,75	87	65,25
6	Деревообрабатывающий	140	0,3	0,7	1,02	42	42,84
7	Ремонтно-механический	669	0,7	0,8	0,75	468	351,23
8	Термическое отд.2	700	0,6	0,75	0,88	420	369,6
9	Испытательная станция	120	0,6	0,75	0,88	72	63,36
10	Кузнечный	700	0,4	0,85	0,62	280	173,6
11	Склад	180	0,3	0,8	0,75	54	40,5
12	Заводоуправление	300	0,5	0,8	0,75	150	112,5
13	Насосная	300	0,5	0,8	0,75	150	112,5
14	Компрессорная	125	0,35	0,7	1,02	87,5	89,25
Итого по 0,38 кВ:		6824	-	-	-	3070,5	2435,83
Потребители электроэнергии 10 кВ							
14	Компрессорная	2500	0,35	0,7	1,02	875	892,5
Итого по 10 кВ:		2500	-	-	-	875	892,5

Таблица 5 – Определение расчетных осветительных нагрузок по цехам завода

№ по ген. плану	Наименование потребителя	Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузки		
		F, м²	P _{уд.о} , Вт/м²	P _{н.о} , кВт	K _{с.о}	P _{ро} , кВт	P _р +P _{ро} , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потребители электроэнергии 0,38 кВ									
1	Термическое отд.1	3500	12,8	44,8	0,95	42,56	582,56	475,2	751,8
2	Заготовительный	7000	12,8	89,6	0,95	85,12	295,12	157,5	334,5
3	Сверлильный	7000	9,8	68,6	0,95	65,17	305,17	180	354,3
4	Цех плашек	16450	9,2	151,34	0,95	143,77	413,77	202,5	460,7
5	Цех метчиков	15250	9,2	140,30	0,95	133,29	220,29	65,25	229,8
6	Деревообрабатывающий	4900	12,8	62,72	0,95	59,58	101,58	42,84	110,3
7	Ремонтно-механический	3150	8,8	25,20	0,95	23,94	491,94	351,23	604,5
8	Термическое отд.2	6300	12,8	80,64	0,95	77,81	497,81	369,6	620
9	Испытательная станция	9187,5	8,0	73,50	0,85	62,48	134,48	63,36	148,7
10	Кузнечный	4532,5	9,8	44,42	0,95	42,20	322,2	173,6	366
11	Склад	2475	9,8	24,26	0,6	14,56	68,56	40,5	79,6
12	Заводоуправление	2625	10,0	26,25	0,9	23,63	173,63	112,5	206,9
13	Насосная	2700	9,8	26,46	0,9	23,81	173,81	112,5	207
14	Компрессорная	2700	9,8	26,46	0,95	25,14	112,64	89,25	143,7
	Территория завода	213675	0,16	34,2	1	34,2	34,2	-	-
Итого по 0,38 кВ:		F_ц = 87770	-	918,75	-	857,08	3927,58	2435,83	4617,8
Потребители электроэнергии 10 кВ									
14	Компрессорная	2700	9,8	26,46	0,95	25,14	900,14	892,5	1267,6
Итого по 10 кВ:		-	-	-	-	-	900,14	892,5	1267,6

2.3.2. Картограмма и определение центра электрических нагрузок.

Картограмма нагрузок представляет собой размещенные на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определенном масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяются из выражения:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{4617,8}{3,14 \cdot 1}} = 38,35 \text{ мм}$$

где S_{pi} - расчетная полная мощность i -го цеха с учетом освещения.

кВА:

m - масштаб для определения площади круга. кВА/мм²(постоянный для всех цехов предприятия).

Силовые нагрузки до и выше 1000 В. изображаются отдельными кругами или секторами в круге. Считаем, что нагрузка по цеху распределена равномерно, поэтому центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане [9].

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора (α) определяется из соотношения полных расчетных (S_{pi}) и осветительных нагрузок ($P_{p.o.}$) цехов:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o.}}{S_{pi}} = \frac{360^\circ \cdot 857,08}{4617,8} = 66,82^\circ$$

Для построения картограммы нагрузок используется таблица 4.

На генплан завода произвольно наносятся оси координат и определяются значения x_i и y_i для каждого цеха. Координаты центра электрических нагрузок завода x_0 и y_0 определяются по формулам [9]:

$$x_0 = \frac{\sum(S_{pi} \cdot x_i)}{\sum S_{pi}} = \frac{1085300}{5886,3} = 184,38 \text{ м}$$
$$y_0 = \frac{\sum(S_{pi} \cdot y_i)}{\sum S_{pi}} = \frac{1263100}{5886,3} = 214,58 \text{ м}$$

Генплан предприятия с картограммой нагрузок показан в приложении 1.

Таблица 6 - Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

№ цеха по ген. плану	S _{р.и} , кВА	P _{ро} , кВт	r, мм	α, град	X _и , м	Y _и , м	S _{р.и} 'X _и , кВа'м	S _{р.и} 'Y _и , кВа'м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потребители 0,4 кВ								
1	751,8	42,56	15,5	20,37	390	350	293200	263200
2	334,5	85,12	10,3	91,61	355	390	118200	130500
3	354,3	65,17	10,6	66,22	425	390	150600	138200
4	460,7	143,77	12,1	112,34	415	190	191200	88000
5	229,8	133,29	8,6	208,81	315	140	72400	32200
6	110,3	59,58	5,9	194,46	150	140	16600	15500
7	604,5	23,94	13,9	14,26	25	295	15200	178400
8	620	77,81	14,1	45,18	310	95	192200	58900
9	148,7	62,48	6,9	151,26	365	65	54300	9700
10	366	42,20	10,8	41,51	230	65	84200	23800
11	79,6	14,56	5,03	65,85	105	245	8400	19500
12	206,9	23,63	8,1	41,12	250	270	51800	55900
13	207	23,81	8,1	41,41	30	185	6200	38300
14	143,7	25,14	6,8	63	30	115	4300	16600
Потребители 10 кВ								
14	1267,6	-	20,1	-	30	115	4300	16600
Итого	5886,3	-	-	-	-	-	1263100	1085300

2.3.3. Выбор числа мощности трансформаторов цеховых подстанций.

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается, как правило, одинаковой для всей группы. Удельная плотность нагрузки определяется по следующей формуле [9]:

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{\text{цехов}}} = \frac{4617,8}{87770} = 0,053 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$$

где $F_{\text{цехов}}$ - площадь всех цехов предприятия, м^2 .

Рекомендуемые номинальные мощности трансформаторов для различных плотностей нагрузок приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Удельная плотность нагрузки

Удельная плотность нагрузки σ , кВА/м ²	Рекомендуемая номинальная мощность трансформатора, кВА
0,05 - 0,1	630
0,15	1000
>0,2	1600
>0,3 – 0,35	2500

Выбирается трансформатор ТМ-630 [2].

Таблица 8 - Технические характеристики трансформатора ТМ-630

Тип	Номинальная мощность, кВА	Номинальное высшее напряжение, кВ	Номинальное низшее напряжение, кВ	Потери холостого хода, кВт.	Потери короткого замыкания, кВт.	Ток холостого хода, %	Напряжение короткого замыкания, %	Схема и группа соединения обмоток
ТМ-630/10/0,4	630	10	0,4	1,56	8,5	2	5,5	У/УН-0

Минимально возможное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H}{\beta_T \cdot S_{\text{н.тр}}} = \frac{3927,58}{0,7 \cdot 630} = 8,9 \approx 9 \text{ шт}$$

где β_T - коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме (принимается 0,7).

$S_{н.тр}$ - номинальная мощность одного трансформатора, кВА;

$\sum P_p^H$ - номинальная расчетная активная мощность в сетях до 1000 В, кВт.

Полученная расчетная величина округляется до ближайшего большего целого значения N .

После выбора числа и мощности цеховых трансформаторов распределяют активные нагрузки цехов между ними равномерно. Активная нагрузка, приходящаяся на один цеховой трансформатор, может быть определена:

$$P_1 = \frac{\sum (P_p + P_{po})}{N} = \frac{\sum P_p^H}{N} = \frac{3927,58}{9} = 437 \text{ кВт}$$

Число трансформаторов N_i которое следует установить в том или ином цехе, определяется делением нагрузки цеха $P_p + P_{po}$ на P_1 :

$$N_1 = \frac{P_p + P_{po}}{P_1} = \frac{582,56}{437} = 1,33$$

Если получается число дробное, то объединяют нагрузки близлежащих цехов. Подстанции обычно устанавливают одно- или двух трансформаторные в зависимости от необходимой надежности электроснабжения.

Таблица 9 - Необходимое число трансформаторов для каждого цеха

№ Цеха	Номера трансформаторов	N_T
1	1,2	1,33
2	3,4	0,62
3	3,4	0,72
4	5,6	1,01
5	5,6	0,57
6	3,4	0,24
7	1,2	0,67
8	7,8,9	1,14
9	5,6	0,5

Продолжение таблицы 9

10	7,8,9	0,75
11	7,8,9	0,18
12	3,4	0,42
13	7,8,9	0,41
14	7,8,9	0,27

После этого на плане предприятия обозначают места расположения цеховых ТП и намечают схему их питания от ГПП.

Трансформаторы цеховых ТП могут быть запитаны по радиальной схеме или 2-3 трансформатора разных близко расположенных подстанций в одну цепочку.

Трансформаторы двух трансформаторной подстанции должны быть запитаны от разных секций РУ 10 кВ ГПП или ЦРП.

Для питания потребителей электроэнергии напряжением выше 1000 В, в цехе устанавливается РУ 10 кВ.

2.4. Схема внешнего электроснабжения.

ГПП размещается на территории завода в соответствии с расчетным центром электрических нагрузок с некоторым смещением в сторону источника питания.

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания, количества и единичной мощности ЭП (электродвигателей, электрических печей, преобразователей и т.д.).

Обычно величина напряжения выбирается на основе технико-экономического сравнения вариантов. Выполнение технико-экономических расчетов в каждом отдельном случае повышает трудоемкость проектирования электроснабжения. Для удобства проектирования можно использовать следующие основные рекомендации по выбору напряжения [9].

Напряжение 35 кВ имеет экономические преимущества при передаваемой мощности не более 10 МВА.

Напряжение 110 кВ целесообразно применять при потребляемой промышленным предприятием мощности 10-150 МВА.

При мощностях, превышающих 120-150 МВА, для электроснабжения промышленных предприятий возможно применение напряжения 220 кВ.

Согласно ГОСТ 14209-85 для трансформатора допускается длительная аварийная перегрузка 40% и систематическая перегрузка в зависимости от условий охлаждения, типа трансформатора и графика нагрузки [9].

Мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле:

$$S_{н.тр} = \frac{S_{р.гпп}}{2 \cdot \beta_T} = \frac{5886,3}{2 \cdot 0,7} = 4210 \text{ кВА}$$

где $S_{р.гпп}$ расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП:

β_T - коэффициент загрузки трансформаторов ГПП (принимается 0,7).

2 - число трансформаторов на ГПП.

Полученное значение $S_{н.тр}$ округляется до ближайшего большего стандартного значения.

Выбираются два трансформатора: ТМН-6300 кВА

Основные технические характеристики трансформатора ТМН-6300/35 приведен в таблице 10.

Таблица 10 - Технические характеристики трансформатора

Номинальная мощность	Номинальное напряжение, кВ	Номинальное напряжение, кВ	Потери холостого хода, кВт.	Потери короткого замыкания, кВт.	Ток холостого хода, %	Напряжение короткого замыкания, %	Схема и группа соединения обмоток
6300 кВА	35	10	7,6	46,5	0,8	7,5	У/Д-11

С учетом того, что в нормальном режиме коэффициент загрузки трансформаторов ГПП принимается равным 0,7, в аварийном режиме любой из трансформаторов с учетом допустимой перегрузки (до 40 %) обеспечит полностью необходимую мощность завода, так как

$$S_{p.гпп} = 1,4 \cdot S_{p.тр}$$

2.4.1. Выбор сечения и проверка линии, питающей ГПП

Воздушная линия, питающая ГПП, будет выполнена двухцепной проводами марки АС. Сечение линии будем выбирать по экономической плотности тока. Выбор сечения провода производится по нагреву расчетным током [2]:

$$I_p = \frac{S_{ном.тр}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{6300}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 52 \text{ А}$$

В аварийном режиме:

$$I_{p.max} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 104 \text{ А}$$

По справочнику определим экономическую плотность тока. Для голых алюминиевых проводов при $T_{max} = 6307,2$ ч принимаем $j_{ЭК} = 1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$.

Выбираем сечение:

$$F_{ЭК} = \frac{I_p}{j_{ЭК}} = \frac{52}{1} = 52 \text{ мм}^2$$

Принимаем ближайшее большее стандартное сечение 70 мм^2 . Для воздушных линий с проводами марки АС 70/11 по справочнику длительно допустимый ток $I_{доп} = 265 \text{ А}$. [2]

Произведем проверку выбранного провода:

1) По допустимой токовой нагрузке, по нагреву и по перегрузочной способности (в послеаварийном или ремонтом режиме при отключении одной из питающих линий).

Правильно выбранное сечение должно удовлетворять условиям:

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.мах}}$$

Сечение удовлетворяет условиям:

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 344,5 \text{ А} > I_{\text{р.мах}} = 104 \text{ А}$$

где $I_{\text{доп}}$ - допустимый ток, А, для выбранного сечения.

Кроме этого, выбранное сечение провода проверяется:

а) по условиям коронирования проводов;

Проверка на корону (производится только для $U_{\text{ном}} \geq 110 \text{ кВ}$).

б) по условиям механической прочности;

Согласно условию механической прочности, на воздушных линиях выше 1000 В могут применяться алюминиевые провода сечением не менее 35 мм^2 , сталеалюминевые и стальные – не менее 25 мм^2 [2].

в) по допустимой потере напряжения:

Найдем коэффициент загрузки питающей линии при нормальный режим работы:

$$k_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{р}}} = \frac{265}{52} = 5,1$$

при аварийный режим работы:

$$k_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{2 \cdot I_{\text{р}}} = \frac{265}{2 \cdot 52} = 2,55$$

Найдем допустимую длину питающей линии при нормальный режим работы:

$$l_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 \geq l;$$

$$341,7 \text{ км} = 1340 \cdot 5\% \cdot 5,1 > 9 \text{ км}$$

при аварийный режим работы:

$$l_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 \geq l;$$

$$340,36 \text{ км} = 1340 \cdot 10\% \cdot 2,54 > 9 \text{ км}$$

Все условия выполняются и выбранное сечение проверку проходит.

где $l_{\Delta U 1\%}$ - длина линии при полной нагрузке на 1% потери, км;

$\Delta U_{\text{доп}\%}$ - допустимая потеря напряжения, %;

при нормальный режим работы: $\Delta U_{\text{доп}\%} = 5\%$;

при аварийный режим работы: $\Delta U_{\text{доп}\%} = 10\%$;

$k_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{I_p}$ - коэффициент загрузки линии;

$l_{\text{доп}}$ - допустимая длина линии, км;

l - фактическая длина линии, км.

2.4.2. Построение суточного графика нагрузки

Для построения суточного графика нагрузки воспользуемся характерным суточным графиком нагрузки вагоноремонтного завода, который представлен на рисунке 3.

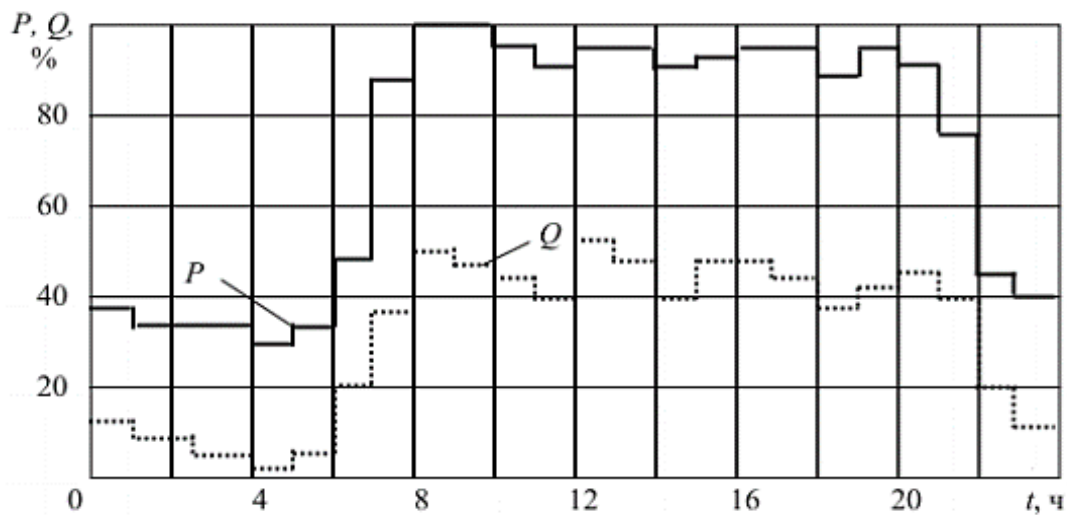


Рисунок 3 – Характерный суточный график нагрузки инструментального завода

Определим активную мощность ступени для первого часа:

$$P_{\text{ст1}} = \frac{n_{\%} \cdot P_{p\Gamma\Pi\Pi}}{100} = \frac{38\% \cdot 4827,72}{100} = 1834,53 \text{ кВт}$$

где $n_{\%}$ - загруженность графика нагрузок;

$P_{p\Gamma\Pi\Pi}$ - расчетная активная мощность со стороны ВН ГПП.

Расчет для остальных ступеней аналогичен. Результаты расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Суточное изменение нагрузки

№ ступени	Часы	$n_{\%}$	P_{cm1} , кВт
1	0-1	38	1834,53
2	1-4	34	1641,42
3	4-5	30	1448,32
4	5-6	34	1641,42
5	6-7	48	2317,31
6	7-8	87	4200,12
7	8-10	100	4827,72
8	10-11	95	4586,33
9	11-12	91	4393,23
10	12-14	95	4586,33
11	14-15	91	4393,23
12	15-16	93	4489,78
13	16-18	95	4586,33
14	18-19	88	4248,39
15	19-20	95	4586,33
16	20-21	91	4393,23
17	21-22	76	3669,07
18	22-23	45	2172,47
19	23-24	40	1931,09

Определим активную потребляемую энергию за сутки:

$$W_{сут} = \sum_{i=1}^{19} P_{cmi} \cdot T_{cmi} = 75457,24 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Среднесуточная нагрузка:

$$P_{сут} = \frac{W_{сут}}{T_{сут}} = \frac{75457,24}{24} = 3144,05 \text{ кВт}$$

Максимальная нагрузка:

$$P_{max} = P_{cm7} = 4827,72 \text{ кВт}$$

Найдем коэффициент максимума:

$$K_{max} = \frac{P_{pIII}}{P_{сум}} = \frac{4827,72}{3144,05} = 1,54$$

Найдем коэффициент загрузки:

$$K_{з.г.} = \frac{1}{K_{max}} = \frac{1}{1,54} = 0,65$$

Число часов использования максимума нагрузки в сутки:

$$T_{max.сут} = K_{з.г.} \cdot T_{сут} = 0,65 \cdot 24 = 15,6 \text{ ч}$$

Число часов использования максимума нагрузки в год:

$$T_{max.год} = K_{з.г.} \cdot T_{сут} \cdot 365 = 0,65 \cdot 24 \cdot 365 = 5694 \text{ ч}$$

2.5. Схема внутризаводской сети 10 кВ.

Распределительная сеть выше 1000 В по территории завода выполняется кабельными линиями, наложена в эстакадах [9].

Сечение кабельных линий выбирается по экономической плотности тока.

Приведем пример выбора сечения для кабельной линии КЛ1.

Найдем расчетный ток КЛ:

$$I_{расч} = \frac{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}}{n_L \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 630}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 36,37 \text{ А}$$

По справочнику определяем экономическую плотность тока. Для кабеля с бумажной пропитанной изоляцией с жилами из алюминия при $T_{max} = 5000 \text{ ч}$ принимаем $j_{ЭК} = 1,2 \text{ А/мм}^2$. [11]

Найдем экономически целесообразное сечение:

$$F_{ЭК} = \frac{I_p}{j_{ЭК}} = \frac{36,37}{1,2} = 30,31 \text{ мм}^2$$

Округлим найденное значение сечения до ближайшего стандартного $F = 35 \text{ мм}^2$.

Предварительно выбираем кабель марки ААШв-3×35. По справочнику находим допустимый длительный ток $I_{\text{доп}} = 80 \text{ А}$.

По справочнику допустимая температура нагрева жил кабеля напряжением 10 кВ, $t = +65^\circ\text{C}$. Поправочный коэффициент на токи $K_1 = 1$.

Поправочный коэффициент с учетом 4-ех параллельно проложенных кабелей в земле $K_2 = 0,84$ [3]

Произведем проверку выбранного кабеля по допустимому нагреву:

$$I_{\text{доп}} = 106 > \frac{I_{\text{расч}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{36,37}{1 \cdot 0,84} = 43,3 \text{ А} - \text{условие выполняется.}$$

Линия КЛ2 может работать с перегрузкой, поэтому выполним проверку по длительному нагреву в послеаварийном режиме.

Ток послеаварийного режима:

$$I_{\text{п.ав}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 36,37 = 72,74 \text{ А}$$

По справочнику определим допустимую перегрузку по отношению к номинальной при длительности 6 часов $K_{\text{пер}} = 1,20$.

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 80 = 96 \text{ А} > \frac{I_{\text{п.ав}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{72,74}{1 \cdot 0,84} = 86,6 \text{ А}$$

Как видно все условие выполняется.

Таблица 12 – Выбор кабелей, питающих трансформаторные подстанции

№	Номер линии	Назначение линии	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		Длина линии l, км	Способ прокладки	Поправочный коэффициент прокладки кабеля	Марка и сечение кабеля, выбранного по условию	Допустимая нагрузка на один кабель	
				В нормальном режиме I _р , А	В аварийном режиме I _м , А.					В нормальном режиме I _{доп} , А.	В аварийном режиме I _{1,2доп} , А.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КЛ-1	ГПП - ТП-1	2	36,37	72,74	0,335	эстакада	0,84	ААШв (3×35)	80	96
2	КЛ-2	ГПП - ТП-2	3	24,25	48,50	0,280	эстакада	0,84	ААШв(3×25)	65	78
3	КЛ-3	ГПП - ТП-3	6	18,19	36,38	0,095	эстакада	0,84	ААШв (3×16)	46	55,2
4	КЛ-4	ГПП - ТП-4	3	24,25	48,50	0,300	эстакада	0,84	ААШв (3×25)	65	78
5	КЛ-5	ГПП - СДК	1	240,5	-	0,080	эстакада	0,9	ААШв (3×240)	270	-

2.5.1. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

Во-первых, составим расчетную схему, которая представляет собой упрощенную однолинейную схему электроснабжения [9].

Расчетная схема представлена на рисунке 4.

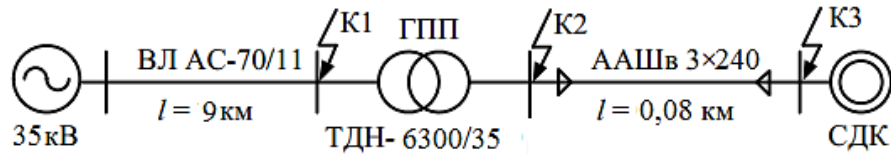


Рисунок 4— Расчетная схема

Составим схему замещения по расчетной схеме. Схема замещения представлена на рисунке 5.

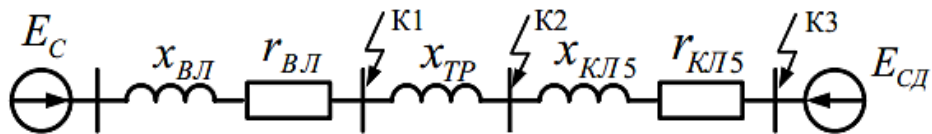


Рисунок 5 – Схема замещения

Определение сопротивлений схемы замещения

Расчет будет вестись в базисных единицах.

Принимаем $S_{\text{б}} = 1000 \text{ МВА}$, $U_{\text{ср.ном1}} = 37 \text{ кВ}$, $U_{\text{ср.ном2}} = 10,5 \text{ кВ}$.

Систему будем считать шинами бесконечной мощности, поэтому $x_c = 0$.

В таблице 13 представлены погонные активные и индуктивные сопротивления ВЛ и КЛ.

Таблица 13 – Погонные активные и индуктивные сопротивления ВЛ и КЛ

№	Длина, км	Марка КЛ/ВЛ	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км
ВЛ	9	АС-70/11	0,46	0,417
КЛ5	0,08	ААШв 3×240	0,13	0,0587

Сопротивления ВЛ 35 кВ:

$$r_{\text{ВЛ}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном1}}^2} = \frac{0,46 \cdot 9 \cdot 1000}{37^2} = 3,02 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{ВЛ}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном1}}^2} = \frac{0,417 \cdot 9 \cdot 1000}{37^2} = 2,74 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление ТР ТДН-6300/35 кВА:

$$x_{\text{ТР}} = \frac{U_{\text{кз\%}} \cdot S_{\text{б}}}{100 \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 10} = 10,5 \text{ о.е.}$$

Сопротивления КЛ5:

$$r_{\text{КЛ5}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном2}}^2} = \frac{0,13 \cdot 0,08 \cdot 1000}{10,5^2} = 0,302 \text{ о.е.}$$

$$x_{\text{КЛ5}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном2}}^2} = \frac{0,0587 \cdot 0,08 \cdot 1000}{10,5^2} = 0,043 \text{ о.е.}$$

2.5.2. Расчет токов КЗ

Точка К1.

Определим базисный ток:

$$I_{\text{б1}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном1}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,6 \text{ о.е.}$$

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{ВЛ}^2 + x_{ВЛ}^2} = \sqrt{3,02^2 + 2,74^2} = 4,08 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{I_{б1}}{Z_{рез}} = \frac{15,6}{4,08} = 3,82 \text{ кА}$$

Постоянная затухания:

$$T_{a1} = \frac{x_{ВЛ}}{\omega \cdot r_{ВЛ}} = \frac{x_{ВЛ}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{ВЛ}} = \frac{2,74}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,02} = 0,003 \text{ с}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{уд1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,003} = 1,036$$

Ударный ток:

$$i_{удК1} = \sqrt{2} \cdot K_{уд1} \cdot I_{к1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,036 \cdot 3,82 = 5,6 \text{ кА}$$

Точка К2.

При расчете тока КЗ в точке К2 необходимо учесть подпитку от СД.

Расчет тока КЗ от системы.

Определим базисный ток:

$$I_{б2} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{ср.ном2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98 \text{ о.е.}$$

Суммарное сопротивление до места КЗ:

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{ВЛ}^2 + (x_{ВЛ} + x_{тр})^2} = \sqrt{3,02^2 + (2,74 + 10,5)^2} = 13,58 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{I_{62}}{Z_{рез}} = \frac{54,98}{13,58} = 4,05 \text{ кА}$$

Постоянная затухания:

$$T_{a2} = \frac{(x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{Тр}})}{\omega \cdot r_{\text{ВЛ}}} = \frac{(x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{Тр}})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_{\text{ВЛ}}} = \frac{2,74 + 10,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,02} = 0,014 \text{ с}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{y\partial 2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,014} = 1,5$$

Ударный ток:

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 2} \cdot I_{\kappa 2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,5 \cdot 4,05 = 8,59 \text{ кА}$$

Точка К3.

Суммарное сопротивление до места К3:

$$\begin{aligned} Z_{рез} &= \sqrt{(r_{\text{ВЛ}} + r_{\text{КЛ5}})^2 + (x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{Тр}} + x_{\text{КЛ5}})^2} = \\ &= \sqrt{(3,02 + 0,302)^2 + (2,74 + 10,5 + 0,043)^2} = 13,69 \text{ о.е.} \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{I_{62}}{Z_{рез}} = \frac{54,98}{13,69} = 4,02 \text{ кА}$$

Постоянная затухания:

$$T_{a3} = \frac{(x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{Тр}} + x_{\text{КЛ5}})}{\omega \cdot (r_{\text{ВЛ}} + r_{\text{КЛ5}})} = \frac{(x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{Тр}} + x_{\text{КЛ5}})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{\text{ВЛ}} + r_{\text{КЛ5}})} = \frac{(2,74 + 10,5 + 0,043)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (3,02 + 0,302)} = 0,013 \text{ с}$$

Ударный коэффициент:

$$K_{y\partial 3} = 1 + e^{-0,01/T_{a3}} = 1 + e^{-0,01/0,013} = 1,46$$

Ударный ток:

$$i_{y\partial K3} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 3} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,46 \cdot 4,02 = 8,3 \text{ кА}$$

Сводная ведомость токов КЗ приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные токи		K1	K2	K3
Токи КЗ, кА	$I^{(3)}$	3,82	4,05	4,02
	$i_{y\partial}$	5,6	8,59	8,3

2.5.3. Проверка сечений КЛ на термическую стойкость к токам КЗ

Проверяем ранее выбранное сечение КЛ5. По расчетам $I_{K3}^{(3)} = 4,02 \text{ кА}$.

В РУ 10 кВ принимаем вакуумные выключатели с $t_{откл} = 0,05 \text{ с}$.

Схема внутризаводского электроснабжения предприятия одноступенчатая, поэтому принимаем для КЛ5 $t_{p.з.} = 0,01 \text{ с}$.

Определим постоянную времени затухания:

$$T_{a3} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{тр} + x_{КЛ5})}{\omega \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ5})} = \frac{(x_{ВЛ} + x_{тр} + x_{КЛ5})}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (r_{ВЛ} + r_{КЛ5})} = \frac{(2,74 + 10,5 + 0,043)}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot (3,02 + 0,302)} = 0,013 \text{ с}$$

Полное время действия релейной защиты $t_{p.з.}$ определяется по выражению:

$$t_{p.з.} = t_{p.з.\min} + \Delta t_c = 0,1 + 0 = 0,1 \text{ с}$$

где $t_{p.з.\min}$ - минимальное время срабатывания первой ступени защиты.

Δt_c - степень селективности, принимается в проекте в зависимости от числа ступеней распределения энергии по территории предприятия.

Приведенное время отключения тока КЗ:

$$t_{np} = t_{p.з.} + t_{откл} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с}$$

где $t_{p.з.}$ - время действия релейной защиты, с;

$t_{откл}$ - полное время отключения вакуумного выключателя.

Определяем величину теплового импульса:

$$B_k = I_{кз}^{(3)2} \cdot (t_{np} + T_{a3}) = 4,02^2 \cdot (0,15 + 0,013) = 16,32 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$$

Определяем минимально допустимое сечение КЛ5:

$$F_{\min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{16,32 \cdot 10^6}}{90} = 44,89$$

где $C_T = 90 \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2}$ - термический коэффициент для кабелей до 10 кВ с

бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами [9].

Из расчета видно, что рассчитанное минимальное сечение кабеля меньше предварительного выбранного сечения кабеля ААШв (3×240), поэтому данный кабель проверку проходит. Полученное значение минимального сечения показывает, что выбранный для КЛ1, КЛ2, КЛ3, КЛ4, сечения кабеля не проходит по термической стойкости к току КЗ. Поэтому принимаем большое сечение 50 мм².

Марки и сечения кабелей, принятые по условию термической стойкости к токам КЗ сведены в таблице 15.

Таблица 15 – Марки и сечения КЛ, выбранные по условию термической стойкости к токам КЗ

Назначение участка питающей линии	Термически стойкое сечение $F_{\min}, \text{мм}^2$	Принятое сечение кабеля $F, \text{мм}^2$	Длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}, \text{А}$
ГПП-ТП1	44,89	ААШв (3×50)	105
ГПП-ТП2	44,89	ААШв (3×50)	105
ГПП-ТП3	44,89	ААШв (3×50)	105
ГПП-ТП4	44,89	ААШв (3×50)	105
ГПП-СДК	44,89	ААШв (3×240)	270

2.5.4. Выбор высоковольтного аппаратов

Выбор схемы ГПП

Электроснабжение предприятия осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ЛЭП напряжением 35 кВ.

Выбираем схему 4Н-два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий, условное изображение которой представлено на рисунке 6

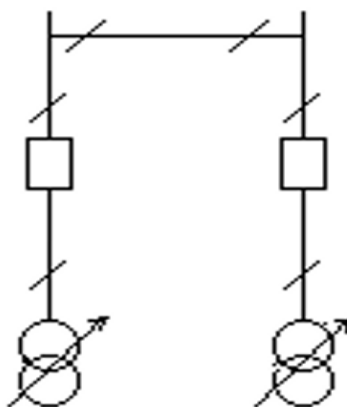


Рисунок 6 – Условное изображение схемы 4Н

Развернутая схема 4Н приведена на рисунке 7.

Номинальный ток трансформатора ТДН-6300/35:

$$I_{номВН} = \frac{S_{тр.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{номВН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 103,92 \text{ А}$$

$$I_{номНН} = \frac{S_{тр.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{номНН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 346,41 \text{ А}$$

Найдем токи в питающих линиях.

Нормальный режим:

$$I_{расч} = \frac{S_{тр.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 103,92 \text{ А}$$

Послеаварийный режим:

$$I_{п.ав} = 2 \cdot I_{расч} = 207,84 \text{ А}$$

В таблице 16 представлен перечень оборудования ГПП.

Таблица 16 – Перечень оборудования ГПП

Обозначение	Наименование	Тип
QS1...QS4	Разъединители	РНДЗ-35/1000 У1
QS5...QS10	Разъединители	РНДЗ-35/1000 У1
QS11, QS12	Разъединители	РЛНД 2-10/400 У1
FV1...FV4	Ограничители перенапряжения	ОПН-П1-35П УХЛ1
FV5, FV6	Ограничители перенапряжения	ОПН-П1-10П УХЛ1
T1, T2	Силовые трансформаторы	ТД-6300/35-У1
T3, T4	Трансформаторы собств. нужд	ТМ-400/10
FU1, FU2	Предохранители	ПКТ 102-10-31,5-31,5 У3
FU3, FU4	Предохранители	ПКТ 102-10-50-12,5 У3
Q1, Q2	Выключатели элегазовые	ВМП-10-20/630 У3
Q3...Q5	Выключатели элегазовые	ВММ-10А-400-10 У2
TA1, TA2	Трансформаторы тока	ТВТ-35-1-200/5
TA3, TA4	Трансформаторы тока	ТЛМ-10-0,5/10Р-400/5-У3
TV1, TV2	Трансформаторы напряжения	ЗНОМ-35-65-0,5-150
TV3, TV4	Трансформаторы напряжения	НТМИ-10-0,5-120

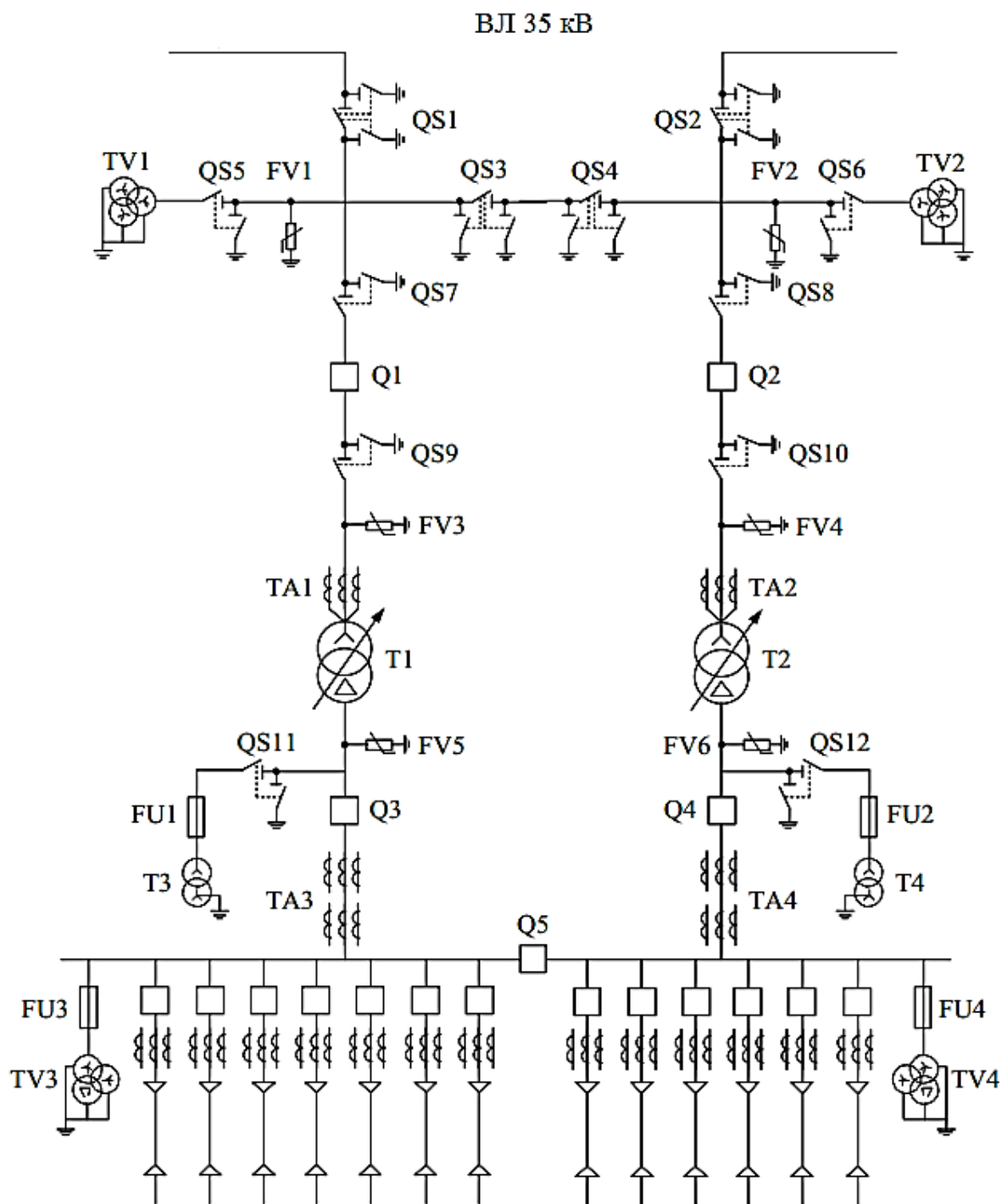


Рисунок 7 – Развернутая схема 4Н

2.5.5. Выбор трансформаторов собственных нужд

Номинальная мощность ТСН:

$$S_{с.н.} = 0,05 \cdot S_{тр.ном} = 0,05 \cdot 6300 = 315 \text{ кВА}$$

Выбираем два трансформатора ТМ-400/10 [2]

2.6. Электроснабжение цеха

Распределение электроприемников по пунктам питания осуществляется путем подключения группы электроприемников к соответствующему распределительному шкафу ПР, имеющему определенное число присоединений [9].

Количество шкафов выбирается исходя из территориального размещения оборудования.

Выбор места установки ПР основан на обеспечении минимальной длины кабельной линии от РУ-0,4кВ ТП, минимальных длинах отходящих кабельных линий, удобства обслуживания. Также ПР не должен располагаться на проходах, проездах.

Прокладку кабеля от РУ-0,4кВ до шкафов ПР осуществляется в полу, прокладку кабеля от шкафов ПР до электроприемников выполняется в полу в трубах и по стене на консолях в металлических коробах.

К основным недостаткам данной схемы относятся: высокая стоимость из-за большего расхода проводникового материала и коммутационной аппаратуры; трудности при реконструкции сети [9].

Схема расстановки оборудования и прокладки кабельных линий на
 рисунке 1

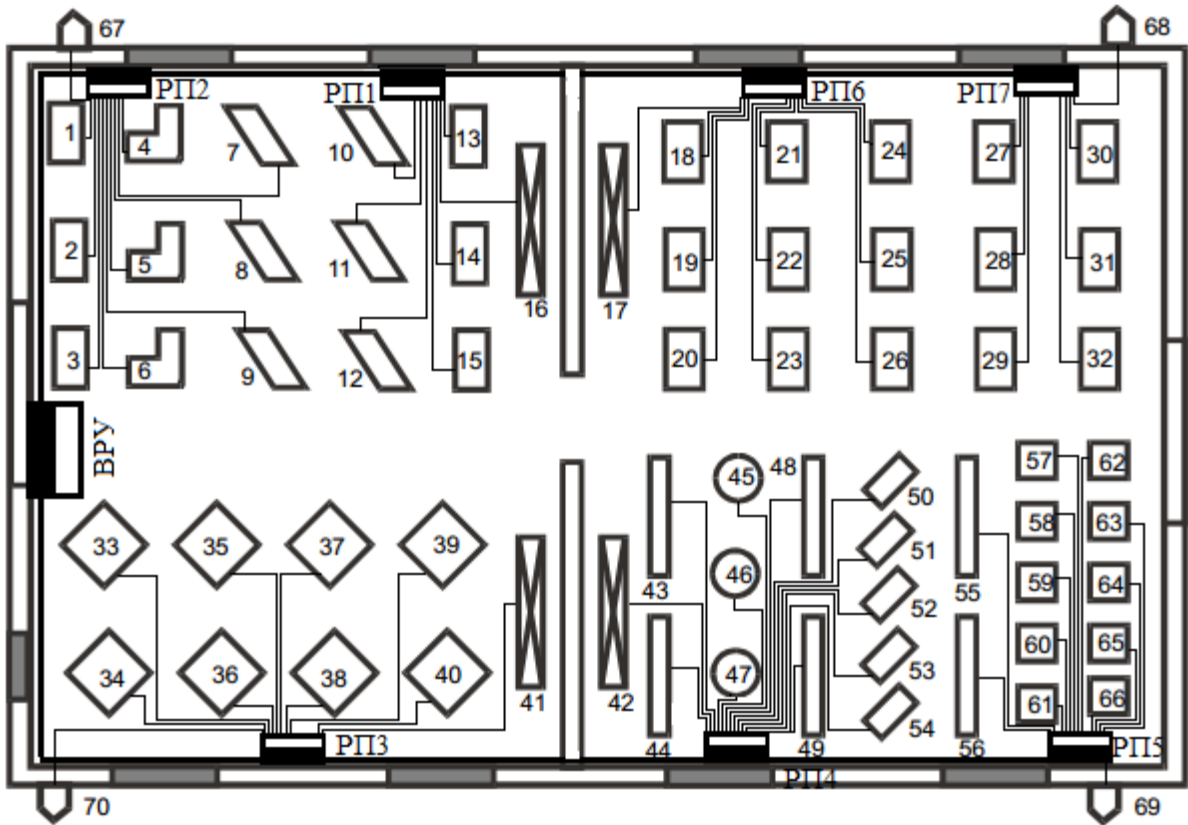


Рисунок 7. План расстановки оборудования и прокладки кабельных линий

2.6.1. Выбор силовых распределительных пунктов

Пример выбора распределительного пункта приведем для РП1.

$$I_{ном} \geq I_p = 108,78 \text{ А}$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток распределительного пункта, А

По [6] выбираем распределительный пункт РП11-1060-21 с автоматическими выключателями на фидерах серий ВА57-35 и ВА57-39, технические данные которого приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические данные распределительного пункт РП11-1060-21

Аппарат ввода	ВА57-35
Номинальный ток, А	250
Длительно допустимый ток пункта, А	225
Количество выключателей на фидерах	6

Аналогично выбираем распределительные шкафы для остальных групп электроприемников. Результаты выбора сведем в таблицу 18.

Таблица 18 – Распределительные пункты

№ РП	I_p, A	$n_{лин}$	Тип РП	$I_{ном}, A$
РП1	108,78	7	ПР11-1060-21	250
РП2	81,44	10	ПР11-1060-21	250
РП3	84,02	9	ПР11-1060-21	250
РП4	220,15	13	ПР24-3227(3527)	480
РП5	294,29	12	ПР24-3227(3527)	480
РП6	58,65	10	ПР11-1060-21	250
РП7	113,34	7	ПР11-1060-21	250

2.6.2. Выбор автоматических выключателей

Для обеспечения защиты от токов короткого замыкания и от возможных перегрузок в качестве аппаратов защиты используем автоматические выключатели.

Выбор автоматических выключателей можно разделить на следующие этапы:

1. Выбор типа автомата.
2. Выбор номинального тока автомата по условию:

$$I_{ном.АВ} \geq K_{зап} \cdot I_{длит},$$

где $I_{ном.АВ}$ - номинальный ток АВ;

$K_{зап}$ - коэффициент запаса, принимаемый по [11]

$I_{длит}$ - длительный максимальный рабочий ток линии (расчетный – для группы ЭП, и номинальный для отдельного ЭП).

2. Выбор номинального тока теплового расцепителя автоматов по условию:

$$I_{ном.тепл} \geq K_{зап} \cdot I_{длит},$$

3. Проверка по току срабатывания (уставки) электромагнитного расцепителя:

-для группы ЭП $I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{пик}$;

-для отдельно ЭП $I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}$,

где $I_{пик}$ - пиковый ток группы ЭП;

$I_{пуск}$ - пусковой ток ЭП.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя:

$$I_{кз} = K_{кз} \cdot I_{ном.тепл}$$

где $K_{кз}$ - уставка срабатывания в зоне КЗ.

Приведём пример выбора автоматического выключателя для трубогибочного станка.

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos(\varphi_{насп}) \cdot \eta} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,95} = 19,2 \text{ А};$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot I_{длит} = 5 \cdot 19,2 = 96 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА13-25 с $I_{ном} = 25 \text{ А}$,

$$I_{ном.тепл} = 25 \text{ А}, K_{кз} = 7 [9]$$

Выполняем проверки:

$$I_{ном.ав} = 25 \text{ А} \geq K_{зап} \cdot I_{длит} = 1,15 \cdot 19,2 = 22,08 \text{ А}$$

$$I_{ном.тепл} = 25 \text{ А} \geq K_{зап} \cdot I_{длит} = 1,15 \cdot 19,2 = 22,08 \text{ А}$$

$$I_{кз} = K_{кз} \cdot I_{ном.тепл} = 7 \cdot 25 = 175 \text{ А} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 96 = 144 \text{ А}$$

Автоматический выключатель типа ВА13-25 удовлетворяет указанным выше условиям.

Аналогично выбираем автоматы, защищающие ЭП цеха, результаты сводим в таблицу 19.

Пример расчета выбора автоматического выключателя для РП6.

Номинальный ток группы ЭП РП6:

$$I_{расч} = \frac{P_{расч}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{43,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,65 \text{ А}$$

Определяем пиковый ток группы:

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + (I_{расч} - I_{ном.мах}) = 72,17 + (58,65 - 13,52) = 117,3 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА13-29 с $I_{ном} = 63 \text{ А}$,

$$I_{ном.тепл} = 63 \text{ А}, K_{кз} = 14 [9]$$

Выполняем проверки:

$$I_{ном.АВ} = 100 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,15 \cdot 58,65 = 67,45 \text{ А}$$

$$I_{ном.тепл} = 80 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,15 \cdot 58,65 = 67,45 \text{ А}$$

$$I_{кз} = K_{кз} \cdot I_{ном.тепл} = 14 \cdot 80 = 1120 \text{ А} \geq 1,5 \cdot I_{пик} = 1,5 \cdot 117,3 = 175,95 \text{ А}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки.

Аналогично выбираем автоматические выключатели для остальных распределительных пунктов, результаты выбора сведем в таблицу 20.

Таблица 19 – Выбор автоматических выключателей

№ ЭП	Наименование электроприемника	$I_{ном.АВ}$, А	$I_{ном.тепл}$, А	$K_{кз}$,	$I_{кз}$, А	Марка АВ	Установленная мощность ЭП, кВт
1-3, 13-15	Токарно-винторезный станок	25	16	7	112	ВА13-25	4,5
4-6	Трубогибочный станок	25	25	7	175	ВА13-25	6,0
7-9	Пресс-ножницы	25	16	7	112	ВА13-25	3,7
10-12	Пресс листогибочный	63	63	12	756	ВА13-29	16,4
16,17 41,42	Кран-балка, ПВ=40%	63	63	12	756	ВА13-29	14
18-26	Токарно-винторезный станок	25	16	7	112	ВА13-25	3,3
27-32	Токарно-винторезный станок	63	63	6	378	ВА13-29	10,6

Продолжение таблицы 19

33-36	Универсальный круглошлифоваль- ный станок	25	25	7	175	BA13-25	5,0
37-40	Внутришлифоваль- ный станок	25	25	7	175	BA13-25	6,6
43,44	Молот пневматический	25	25	7	175	BA13-25	7,0
45-47	Электропечь сопротивления	100	100	14	1400	BA51Г- 31	28
48,49	Молот пневматический	63	63	12	756	BA13-29	13
50-54	Печь муфельная	25	16	7	112	BA13-25	2,4
55,56	Сварочный агрегат, ПВ=50%	100	100	14	1400	BA51Г- 31	22
57-61	Транс. Сварочный, ПВ=40%	63	63	12	756	BA13-29	16
62,63	Преобразователь сварочный	63	63	12	756	BA13-29	14,5
64-66	Машина электросварочная точечная	100	100	14	1400	BA51Г- 31	24
67-70	Вентилятор	63	63	6	378	BA13-29	11

Таблица 20 – Выбор вводных автоматических выключателей РП

№ РП	$I_{\text{ном.АВ}},$ А	$I_{\text{ном.тепл}},$ А	$K_{\text{кз}},$	$I_{\text{кз}},$ А	Марка АВ	Установленная мощность РП, кВт
РП1	160	125	10	1250	BA51-33	71,6
РП2	100	100	14	1400	BA13-29	53,6
РП3	160	125	10	1250	BA51-33	60,4
РП4	630	500	6	3000	BA51-29	144,9
РП5	630	500	6	3000	BA51-29	193,7
РП6	100	80	14	1120	BA13-29	38,6
РП7	160	160	10	1600	BA51-33	74,6

Произведем выбор вводного автоматического выключателя для ВРУ.

Расчетный ток ремонтно-механического цеха:

$$I_{расч} = 1016,44 \text{ А};$$

Определим пиковый ток группы ЭП механического цеха:

$$\begin{aligned} I_{пик} &= I_{пуск.мах} + (I_{расч} - K_u \cdot I_{ном.мах}) = \\ &= 960,68 + (1016,44 - 0,14 \cdot 28) = 1973,2 \text{ А} \end{aligned}$$

Выбираем автоматический выключатель типа Э40 с $I_{ном} = 4000 \text{ А}$,

$$I_{ном.тепл} = 2500 \text{ А}, K_{кз} = 5 [7]$$

Выполняем проверки:

$$I_{ном} = 4000 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,15 \cdot 1016,44 = 1168,91 \text{ А}$$

$$I_{ном.тепл} = 2500 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{расч} = 1,15 \cdot 1016,44 = 1168,91 \text{ А}$$

$$I_{кз} = K_{кз} \cdot I_{ном.тепл} = 5 \cdot 2500 = 12500 \text{ А} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 1973,2 = 2959,8 \text{ А}$$

Условия выполняются.

Произведем выбор вводной выключатель РУ НН ТП1.

Номинальный ток трансформатора ТП1:

$$I_{ном.ТП} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,18 \text{ А};$$

На цеховой подстанции ТП3 установлено два трансформатора, поэтому возможен послеаварийный режим. Его необходимо учесть, учитывая, что при выходе из работы одного трансформатора второй может работать с перегрузкой 40%.

Ток послеаварийного режима:

$$I_{п.ав} = 1,4 \cdot I_{ном} = 1,4 \cdot 957,18 = 1340,1 \text{ А}$$

Пиковый ток группы ЭП механического цеха:

$$\begin{aligned} I_{пик} &= I_{пуск.мах} + (I_{ном.ТП} - K_u \cdot I_{ном.мах}) = \\ &= 960,68 + (957,18 - 0,14 \cdot 28) = 1913,26 \text{ А} \end{aligned}$$

Выбираем автоматический выключатель типа ВА74-45 с

$$I_{ном} = 3000 \text{ А}, I_{ном.тепл} = 2500 \text{ А}, K_{кз} = 7 [7].$$

Выполняем проверки:

$$I_{ном.АВ} = 3000 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{длит} = 1,15 \cdot 1340,1 = 1541,12 \text{ А}$$

$$I_{ном.тепл} = 2500 \text{ А} \geq K_{зан} \cdot I_{длит} = 1,15 \cdot 1340,1 = 1541,12 \text{ А}$$

$$I_{кз} = K_{кз} \cdot I_{ном.тепл} = 7 \cdot 2500 = 17500 \text{ А} \geq 1,5 \cdot I_{пуск} = 1,5 \cdot 1913,26 = 2869,89 \text{ А}$$

Все необходимые условия выполняются.

2.6.3. Выбор сечений питающей сети ремонтно-механического цеха

Электрический ток в проводнике выделяет тепловую энергию, часть которой расходуется на повышение его температуры, а часть выделяется в окружающую среду.

Чрезмерно высокая температура нагрева проводника может привести к преждевременному износу изоляции, ухудшению контактных соединений и пожарной опасности. Поэтому ПУЭ устанавливает предельно допустимые значения температуры нагрева проводников в зависимости от марки и материала изоляции проводника в различных режимах.

Длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника, называется предельно допустимым током по нагреву. Значения максимальных длительно допустимых токов определяются из условия допустимого теплового износа материала изоляции проводников различных марок и сечений, температурой окружающей среды и способов прокладки, безопасности обслуживания электрической сети, обеспечения надежности (срока службы) и экономичности [9].

Выбор сечения проводника по нагреву длительным током нагрузки сводится к сравнению расчетного максимального тока I_p с допустимым током I_d , определенным по таблицам для проводника принятой марки и условий его прокладки. При этом должно соблюдаться соотношение:

$$I_p \leq I_d$$

где

$$I_p = \frac{I_{ном}}{K_{прок}}$$

Если условие прокладки проводников отличаются от приведенных выше нормальных условий, то сечения кабеля выбираем больше, чем предыдущего.

Расчетный ток принимается для нормального режима работы, т. е. увеличение тока в послеаварийных и ремонтных режимах сети не учитывается [9].

Произведем выбор сечения кабеля, питающего токарно-винторезный станок.

Кабель проложен в кабельном канале, поэтому $K_1 = 1$, так как температура окружающей среды нормальная. Совместно с ним проложены еще 3 кабеля, поэтому поправочный коэффициент $K_2 = 0,84$ по [3].

Выбираем кабель марки АВВГ (4×2,5), с длительно допустимым током $I_{доп} = 19$ А по [8].

Произведем проверки выбранного кабеля.

- по допустимому нагреву проводника длительным током:

$$I_{доп} = 19 \text{ А} \geq \frac{I_{ном}}{K_{прок}} = \frac{6,84}{0,92} = 7,43 \text{ А}$$

где $K_{прок} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 0,92 = 0,84$ - коэффициент, учитывающий условия прокладки.

Выбранное сечение удовлетворяет условиям проверки.

Выбор сечений кабелей для остальных ЭП аналогичен, результаты выбора представлены в таблице 21.

Произведем выбор сечений кабелей, питающих РП.

Рассмотрим пример выбора сечения кабеля для РП1.

Кабель проложен открыто по стене с помощью скоб, следовательно $K_1 = 1$ и $K_2 = 1$ [3].

Выбираем кабель марки АВВГ (4×25), с длительно допустимым током $I_{\text{доп}} = 115 \text{ А}$ по [11].

Произведем проверки выбранного кабеля.

- по допустимому нагреву проводника длительным током:

$$I_{\text{доп}} = 115 \text{ А} \geq \frac{I_{\text{ном}}}{K_{\text{прок}}} = \frac{108,78}{1} = 108,78 \text{ А}$$

где $K_{\text{прок}} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 1 = 1$ - коэффициент, учитывающий условия прокладки.

Выбранное сечение удовлетворяет условиям проверки.

Выбор сечений кабелей для остальных ЭП аналогичен, результаты выбора представлены в таблице 22.

Произведем выбор сечения кабеля, питающего ВРУ 0,4 кВ ремонтно-механического цеха от РУ НН ТП1.

Кабель проложен в траншее, с учетом двух работающих кабелей $K_1 = 1$ и $K_2 = 0,92$. [3]

Выбираем кабель марки АВВГ (4×240), по [9].

Произведем проверки выбранного кабеля.

- по допустимому нагреву проводника длительным током:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ном}}}{K_{\text{прок}}} = \frac{957,18}{0,92} = 1040,42 \text{ А}$$

где $K_{\text{прок}} = K_1 \cdot K_2 = 1 \cdot 0,92 = 0,92$ - коэффициент, учитывающий условия прокладки [3].

Выбранное сечение удовлетворяет условиям проверки.

Таблица 21 - Выбор сечений линий, питающих сети цеха

№ ЭП	Наименование электроприемника	$I_{ном}, А$	$K_{прок}$	$I_{ном} / K_{прок}, А$	$I_{доп}, А$	$K_{защ}$	Марка кабеля
1-3, 13-15	Токарно-винторезный станок	6,84	0,92	7,43	19	1	АВВГ (4×2,5)
4-6	Трубогибочный станок	9,12	0,84	10,86	19	1	АВВГ (4×2,5)
7-9	Пресс-ножницы	5,62	0,81	6,94	19	1	АВВГ (4×2,5)
10-12	Пресс листогибочный	24,92	0,81	30,77	27	1	АВВГ (4×4)
16,17 41,42	Кран-балка, ПВ=40%	21,27	0,84	25,32	27	1	АВВГ (4×4)
18-26	Токарно-винторезный станок	5,01	0,92	5,45	19	1	АВВГ (4×2,5)
27-32	Токарно-винторезный станок	16,11	0,92	17,51	27	1	АВВГ (4×4)
33-36	Универсальный круглошлифовальный станок	7,60	0,87	8,74	19	1	АВВГ (4×2,5)
37-40	Внутришлифовальный станок	10,03	0,87	11,53	19	1	АВВГ (4×2,5)
43,44	Молот пневматический	10,64	0,75	14,19	19	1	АВВГ (4×2,5)
45-47	Электропечь сопротивления	42,54	0,81	52,52	45	1	АВВГ (4×10)
48,49	Молот пневматический	19,75	0,81	24,38	27	1	АВВГ (4×4)
50-54	Печь муфельная	3,65	0,81	4,51	19	1	АВВГ (4×2,5)
55,56	Сварочный агрегат, ПВ=50%	33,43	0,82	40,77	35	1	АВВГ (4×6)
57-61	Транс. Сварочный, ПВ=40%	34,31	0,82	41,84	35	1	АВВГ (4×6)
62,63	Преобразователь сварочный	22,03	0,81	27,20	27	1	АВВГ (4×4)

Продолжение таблицы 21

64-66	Машина электросварочная точечная	36,46	0,81	45,01	45	1	АВВГ (4×10)
67-70	Вентилятор	16,71	0,84	19,89	27	1	АВВГ (4×4)

Таблица 22 - Выбор сечений кабелей до РП

№ РП	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$K_{\text{прок}}$	$I_{\text{ном}} / K_{\text{прок}}, \text{А}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$K_{\text{защ}}$	Марка кабеля
РП1	108,78	1	108,78	115	1	АВВГ (4×25)
РП2	81,44	1	81,44	90	1	АВВГ (4×16)
РП3	84,02	1	84,02	90	1	АВВГ (4×16)
РП4	220,15	1	220,15	240	1	АВВГ (4×95)
РП5	294,29	1	294,29	305	1	АВВГ (4×150)
РП6	58,65	1	58,65	65	1	АВВГ (4×10)
РП7	113,34	1	113,34	115	1	АВВГ (4×25)

2.6.4. Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее удаленного и мощного ЭП.

Расчетная схема для построения эпюры отклонения напряжения приведена на рисунке 8.

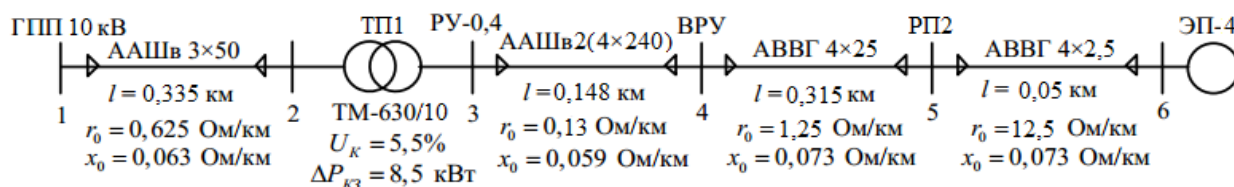


Рисунок 8 – Расчетная схема для построения эпюр отклонения напряжения

Цеховая ТП1 – двухтрансформаторная, поэтому нужно рассмотреть максимальный, минимальный и послеаварийный режимы работы сети.

2.6.4.1. Рассчитаем нагрузки максимального режима.

Узел 6 – Трубогибочный станок. В качестве привода используется АД. Определим расчетную нагрузку привода по номинальным данным:

$$S_{расчЭП} = S_{расч6} = 6 + j4,36 \text{ кВА}$$

Узел 5 – РП2. Расчетная нагрузка определяется методом коэффициента расчетной активной мощности:

$$S_{расчПП} = S_{расч5} = 8,42 + j10,18 \text{ кВА}$$

Узел 4 – ВРУ механического цеха. Расчетная нагрузка также определена методом коэффициента расчетной активной мощности:

$$S_{расчВРУ} = S_{расч4} = 491,94 + j351,23 \text{ кВА}$$

Расчетная нагрузка на одну кабельную линию:

$$S_{расчКЛ} = \frac{S_{расч4}}{2} = \frac{491,94 + j351,23}{2} = 245,97 + j175,62 \text{ кВА}$$

Узел 3 – РУ НН ТП3. Расчетная нагрузка найдена по методу коэффициента спроса:

$$S_{расчТП1} = S_{расч3} = 1074,5 + j826,43 \text{ кВА}$$

Расчетная нагрузка на один трансформатор:

$$S_{расч.тр} = \frac{S_{расчТП1}}{2} = \frac{1074,5 + j826,43}{2} = 537,25 + j413,22 \text{ кВА}$$

Узел 2 – сторона ВН трансформатора ТП3. Нагрузка является суммой мощности на стороне НН и потерь мощности в трансформаторе.

Определим потери мощности в трансформаторе ТМ-630/10, паспортные данные которого приведена выше.

Потери активной мощности:

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{XX} + \Delta P_{кз} \cdot \beta^2 = 1,56 + 8,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{537,25^2 + 413,22^2}}{630} \right)^2 = 11,4 \text{ кВт}$$

Потери реактивной мощности:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{тр} &= \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{кз} \cdot \beta^2 = S_{ном.тр} \cdot \frac{I_{XX}}{100} + S_{ном.тр} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot \beta^2 = \\ &= 630 \cdot \frac{2}{100} + 630 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot \left(\frac{\sqrt{537,25^2 + 413,22^2}}{630} \right)^2 = 53,31 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

Расчетная нагрузка в узле 2:

$$P_{расч2} = P_{расч3} + \Delta P_{mp} = 537,25 + 11,4 = 548,65 \text{ кВт};$$

$$Q_{расч2} = Q_{расч3} + \Delta Q_{mp} = 413,22 + 53,31 = 466,53 \text{ кВАр}$$

2.6.4.2. Рассчитаем нагрузки минимального режима

$$P_{min12} = \frac{30}{100} \cdot P_{max12} = \frac{30}{100} \cdot 551,52 = 165,46 \text{ кВт};$$

$$Q_{min12} = \frac{4}{50} \cdot Q_{max12} = \frac{4}{50} \cdot 463,1 = 37,05 \text{ кВар};$$

$$P_{min23} = \frac{30}{100} \cdot P_{max23} = \frac{30}{100} \cdot 537,25 = 161,18 \text{ кВт};$$

$$Q_{min23} = \frac{4}{50} \cdot Q_{max12} = \frac{4}{50} \cdot 413,22 = 33,06 \text{ кВар};$$

$$P_{min34} = \frac{30}{100} \cdot P_{max34} = \frac{30}{100} \cdot 245,97 = 73,79 \text{ кВт};$$

$$Q_{min34} = \frac{4}{50} \cdot Q_{max34} = \frac{4}{50} \cdot 351,23 = 28,1 \text{ кВар};$$

$$P_{min45} = \frac{30}{100} \cdot P_{max45} = \frac{30}{100} \cdot 8,42 = 2,53 \text{ кВт};$$

$$Q_{min45} = \frac{4}{50} \cdot Q_{max45} = \frac{4}{50} \cdot 10,18 = 0,81 \text{ кВар};$$

$$P_{min56} = \frac{30}{100} \cdot P_{max56} = \frac{30}{100} \cdot 6 = 1,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{min56} = \frac{4}{50} \cdot Q_{max56} = \frac{4}{50} \cdot 4,36 = 0,35 \text{ кВар}$$

2.6.4.3 Нагрузки послеаварийного режима.

Нагрузки послеаварийного режима определяются из анализа схемы сети. В данном случае в послеаварийном режиме нагрузки в узлах 2, 3 и 4 в два раза увеличатся в сравнении с максимальным, а в узлах 5 и 6 останутся без изменений [9].

Результаты расчета нагрузок в различных режимах представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты расчета нагрузок

Обозначение участка	Нагрузка в режимах, кВА		
	минимальный	максимальный	послеаварийный
1-2	165,46+j37,05	548,65+j466,53	1115,41+j999,45
2-3	161,18+j33,06	537,25+j413,22	1074,5+j826,43
3-4	73,79+j28,1	245,97+j175,62	491,94+j351,23
4-5	2,53+j0,81	8,42+j10,18	8,42+j10,18
5-6	1,8+j0,35	6+j4,36	6+j4,36

2.6.5. Расчет режимов

Расчет режима максимальных нагрузок [8].

Участок 1-2:

Напряжение в начале участка принимаем $U_1 = 10,5$ кВ.

$$R_{12} = r_0 \cdot l_{12} = 0,625 \cdot 0,335 = 0,209 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = x_0 \cdot l_{12} = 0,063 \cdot 0,335 = 0,021 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{12\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{548,65 \cdot 0,209 + 466,53 \cdot 0,021}{10 \cdot 10,5^2} = 0,113\%.$$

В вольтах:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 0,113 \cdot \frac{10500}{100} = 11,865 \text{ В.}$$

Напряжение в узле 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 35 - 7,119 = 10500 - 11,865 = 10488,135 \text{ В.}$$

Участок 2-3:

Найдем активную и реактивную составляющие напряжения КЗ трансформатора:

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.тр}} \cdot 100 = \frac{8,5}{630} \cdot 100 = 1,35 \%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{кз}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,35^2} = 5,66 \%$$

Фактический коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{\sqrt{P_{12}^2 + Q_{12}^2}}{S_{ном.тр}} = \frac{\sqrt{548,65^2 + 466,53^2}}{630} = 1,143$$

Потоки мощности, передаваемые через вторичную обмотку цехового трансформатора:

$$P_2 = P_{12} - \Delta P_{mp} = 548,65 - 11,4 = 537,25 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = Q_{12} - \Delta Q_{mp} = 466,53 - 53,31 = 413,22 \text{ кВар}$$

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{537,25^2 + 413,22^2} = 677,78 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{537,25}{677,78} = 0,79$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{413,22}{677,78} = 0,61$$

Потери напряжения в трансформаторе:

$$\begin{aligned} \Delta U_{23\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 - U_p \cdot \sin \varphi_2) = \\ &= 1,143 \cdot (1,35 \cdot 0,79 + 5,66 \cdot 0,61) + \frac{1,143^2}{200} \cdot (1,35 \cdot 0,79 - 5,66 \cdot 0,61) = 4,195\% \end{aligned}$$

В вольтах:

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 4,195 \cdot \frac{10488,135}{100} = 439,977 \text{ В}$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН равно:

$$U_{BH} = U_2 - \Delta U_{23} = 10488,135 - 439,977 = 10048,158 \text{ В}$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_3 = U_{ср.ном} \cdot \frac{U_{BH}}{U_1} = 400 \cdot \frac{10048,158}{10500} = 382,8 \text{ В}$$

Участок 3-4:

$$R_{34} = r_0 \cdot l_{34} = 0,13 \cdot 0,148 = 0,019 \text{ Ом};$$

$$X_{34} = x_0 \cdot l_{34} = 0,059 \cdot 0,148 = 0,009 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{34\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{245,97 \cdot 0,019 + 175,62 \cdot 0,009}{10 \cdot 0,3828^2} = 4,27\%$$

В вольтах:

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 4,87 \cdot \frac{382,8}{100} = 18,64 \text{ В}$$

Напряжение в узле 2:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 382,8 - 18,64 = 364,16 \text{ В}$$

Участок 4-5:

$$R_{45} = r_0 \cdot l_{45} = 1,25 \cdot 0,315 = 0,394 \text{ Ом};$$

$$X_{45} = x_0 \cdot l_{45} = 0,073 \cdot 0,315 = 0,023 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{45\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{8,42 \cdot 0,394 + 10,18 \cdot 0,023}{10 \cdot 0,36416^2} = 2,68\%$$

В вольтах:

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45\%} \cdot \frac{U_4}{100} = 2,68 \cdot \frac{364,16}{100} = 9,76 \text{ В}$$

Напряжение в узле 2:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 364,16 - 9,76 = 354,4 \text{ В}$$

Участок 5-6:

$$R_{56} = r_0 \cdot l_{56} = 12,5 \cdot 0,05 = 0,625 \text{ Ом};$$

$$X_{56} = x_0 \cdot l_{56} = 0,073 \cdot 0,05 = 0,004 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{56\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{6 \cdot 0,625 + 4,36 \cdot 0,004}{10 \cdot 0,3544^2} = 2,99 \%$$

В вольтах:

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56\%} \cdot \frac{U_5}{100} = 2,99 \cdot \frac{354,4}{100} = 10,6 \text{ В}$$

Напряжение в узле 2:

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 354,4 - 10,6 = 343,8 \text{ В}$$

Расчет остальных режимов ведется подобным образом. В минимальном режиме $U_1 = 10 \text{ кВ}$, в послеаварийном – $U_1 = 10,5 \text{ кВ}$. Результаты расчетов сведем в таблицу 24. На рисунке 11 представлена эпюра отклонений напряжения.

Таблица 24 – Результаты расчет режимов

Обозначение участка	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Марка кабеля, сечение, мм ² длина, км	ААШв 3×50 0,335	$S_{ном.тр} = 630 \text{ кВА}$ $U_{кз} = 5,5 \%$ $\Delta P_{кз} = 8,5 \text{ кВт}$	ААШв 2(4×240) 0,148	АВВГ 4×25 0,315	АВВГ 4×2,5 0,05
Сопротивление, Ом активное реактивное	0,625 0,063	$U_a = 13,5 \%$ $U_p = 5,66 \%$	0,13 0,059	1,25 0,073	12,5 0,073
Нагрузка в режимах, кВА максимальный минимальный послеаварийный	548,6 + j466,5 165,46 + j37,05 1115,4 + j999,4	537,25 + j413,22 161,18 + j33,06 1074,5 + j826,43	245,9 + j175,6 73,79 + j28,1 491,9 + j351,2	8,42 + j10,1 2,53 + j0,81 8,42 + j10,1	6 + j4,36 1,8 + j0,3 6 + j4,36
Потери напряжения, В максимальном	11,865	439,77	18,64	9,76	10,6
Отклонение напряжения, % максимальном	0,113	4,195	4,27	2,68	2,99

2.6.6. Расчёт токов КЗ в сети ниже 1000 В

Особенности расчета токов КЗ в сетях до 1000 В:

- мощность системы ($S_{сист}$) принимается бесконечной, т.е. напряжение на шинах цеховых ТП считается неизменным при КЗ в сети до 1 кВ;

- учитываются активные и индуктивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети;

При расчетах токов КЗ необходимо учитывать следующие сопротивления:

- 1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- 2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- 3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;
- 4) значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.

Расчет ведется в именованных единицах, напряжение принимается на 5 % выше номинального напряжения сети, сопротивления всех элементов схемы замещения выражаются в мОм [8].

Схема для расчёта токов КЗ приведена на рисунок 9.

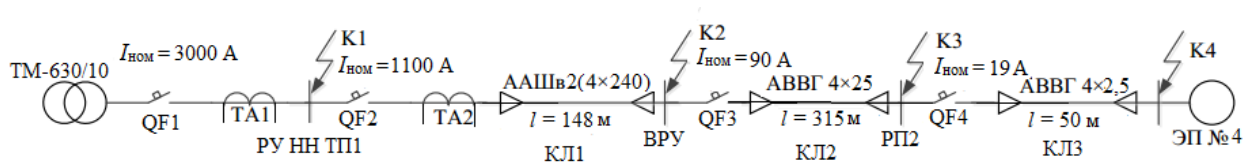


Рисунок 9 – Расчетная схема распределительной сети

Определим сопротивления элементов системы электроснабжения для расчета токов трехфазного КЗ.

Сопротивление силового трансформатора:

$$R_{Tp} = 3,1 \text{ мОм}; X_{Tp} = 13,6 \text{ мОм}.$$

Сопротивления автоматических выключателей QF1-QF4:

$$R_{QF1} = 0,12 \text{ мОм}; X_{QF1} = 0,094 \text{ мОм}; R_{kQF1} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$R_{QF2} = 0,12 \text{ мОм}; X_{QF2} = 0,094 \text{ мОм}; R_{kQF2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$R_{QF3} = 2,35 \text{ мОм}; X_{QF3} = 1,3 \text{ мОм}; R_{kQF3} = 0,75 \text{ мОм};$$

$$R_{QF4} = 5,5 \text{ мОм}; X_{QF4} = 2,7 \text{ мОм}; R_{kQF4} = 1,3 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА1, ТА2 по [8] выше 1000/5 не учитывается.

Сопротивления КЛ1:

$$R_{кл1} = r_0 \cdot l_{кл1} = 0,13 \cdot 148 = 19,24 \text{ мОм};$$

$$X_{кл1} = x_0 \cdot l_{кл1} = 0,06 \cdot 148 = 8,88 \text{ мОм}.$$

Сопротивления КЛ2:

$$R_{кл2} = r_0 \cdot l_{кл2} = 1,25 \cdot 315 = 393,75 \text{ мОм};$$

$$X_{кл2} = x_0 \cdot l_{кл2} = 0,073 \cdot 315 = 22,995 \text{ мОм}.$$

Сопротивления КЛ3:

$$R_{кл3} = r_0 \cdot l_{кл3} = 12,5 \cdot 50 = 625 \text{ мОм};$$

$$X_{кл3} = x_0 \cdot l_{кл3} = 0,09 \cdot 50 = 4,5 \text{ мОм}.$$

Переходные сопротивления ступеней распределения:

$$R_{РУ\text{ }HH} = 15 \text{ мОм}; R_{ВРУ} = 20 \text{ мОм}; R_{РП} = 25 \text{ мОм}.$$

Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{ккл1} = 0,012 \text{ мОм}; R_{ккл2} = 0,064 \text{ мОм}; R_{ккл3} = 0,85 \text{ мОм}.$$

Определим эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ.

$$R_1 = R_{ТР} + R_{QF1} + R_{кQF1} + R_{РУ\text{ }HH} = 3,1 + 0,12 + 0,25 + 15 = 18,47 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{ТР} + X_{QF1} = 13,6 + 0,094 = 13,694 \text{ мОм};$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{кQF2} + R_{КЛ1} + R_{кКЛ1} + R_{ВРУ} =$$

$$= 0,12 + 0,25 + 19,24 + 0,012 + 20 = 39,622 \text{ мОм};$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{КЛ1} = 0,094 + 8,88 = 8,974 \text{ мОм};$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{кQF3} + R_{КЛ2} + R_{кКЛ2} + R_{ПП} =$$

$$= 2,35 + 0,75 + 393,75 + 0,064 + 25 = 421,914 \text{ мОм};$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{КЛ2} = 1,3 + 22,995 = 24,295 \text{ мОм};$$

$$R_4 = R_{QF4} + R_{кQF4} + R_{КЛ3} + R_{кКЛ3} =$$

$$= 5,5 + 1,3 + 625 + 0,85 = 632,65 \text{ мОм};$$

$$X_4 = X_{QF4} + X_{КЛ3} = 2,7 + 4,5 = 7,2 \text{ мОм}.$$

Упрощенная схема замещения распределительной сети для расчета токов трехфазного и двухфазного КЗ представлена на рисунке 10.

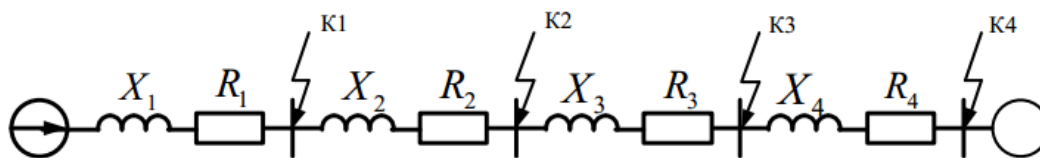


Рисунок 10 – Упрощенная схема замещения распределительной сети
 Рассчитаем токи трехфазного и двухфазного КЗ для точки К1 [8].
 Суммарное сопротивление:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{18,47^2 + 13,694^2} = 22,99 \text{ мОм}$$

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_1} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22,99} = 10,05 \text{ кА}$$

Постоянная затухания:

$$T_a = \frac{X_1}{\omega \cdot R_1} = \frac{13,694}{314 \cdot 18,47} = 0,0024 \text{ с}$$

Ударный коэффициент:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{-0,01/T_a} = 1 + e^{-0,01/0,0024} = 1,02$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,02 \cdot 10,05 = 14,49 \text{ кА}$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot 10,05 = 8,74 \text{ кА}$$

Расчет токов КЗ для остальных точек производится аналогичным образом.

ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В этом разделе рассмотрена 2 этапа исследование моделирование системы электроснабжение:

1 этап - регулирования напряжения при изменении коэффициента трансформации в диапазоне $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ с шагом 1% [15].

2 этап – изменения напряжений при обрыве фазного провода электропередачи 10 кВ в электрической сети напряжением 10/0,4 кВ с трансформатором со схемой соединения обмоток звезда с нулем - звезда с нулем [14].

1 – Этап: Решение задач повышения качества электрической энергии в сети 0,4 кВ и ее экономии тесно связано с регулированием переменного напряжения на стороне 10 кВ трансформаторных подстанций (ТП). На силовых трансформаторах указанных ТП отсутствуют устройства автоматического регулирования напряжения. Регулирование уровня напряжения 0,4 кВ на ТП 10/0,4 кВ осуществляется устройствами ПБВ (переключение без возбуждения) два раза в год (сезонное регулирование) при условии отключенного трансформатора [15].

На промышленных предприятиях требуемый уровень напряжения 0,4 кВ поддерживается устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) на главных понизительных подстанциях (ГПП). В то же время большинство бытовых потребителей не получают электроэнергию на напряжении 380 В требуемого качества: отклонения напряжения в сети часто превышают пределы как нормально допустимых, так и предельно допустимых значений. Результат – пониженная освещенность помещений, влияющая на ухудшение зрения школьников, студентов, работников умственного труда и населения в целом; выход из строя дорогостоящего электрооборудования, бытовых электроприборов и т.д [15].

За основу принята СЭС промышленного предприятия (ПП) как электропотребителя, отличающегося многообразием электроприемников с различными режимами работы. Воспользуемся выше выбранных электрических аппаратов и собираем модель система электроснабжения ремонтно-механического цеха инструментального завода. В программное приложение Matlab Simulink имеется возможность моделирования широкого спектра уже готовых электротехнических устройств [15].

Исходными данными для моделирования СЭС предприятия являются тип, количество, режим работы и номинальная мощность электроприемников 0,4 и 10 кВ, а также длины линий электропередачи.

На основе расчета электрических нагрузок 0,4 и 10 кВ выбраны элементы СЭС: цеховые трансформаторы ТМ-630/10/0,4 кВ, сечения распределительных электросетей, автоматический выключатели и электроприемники цеха 0,4 кВ.

При построении модели СЭС использован принцип структурного моделирования, основанного на создании моделей отдельных блоков и последующем синтезе всей системы. Имитационная модель СЭС ПП представлена на рисунке 11.

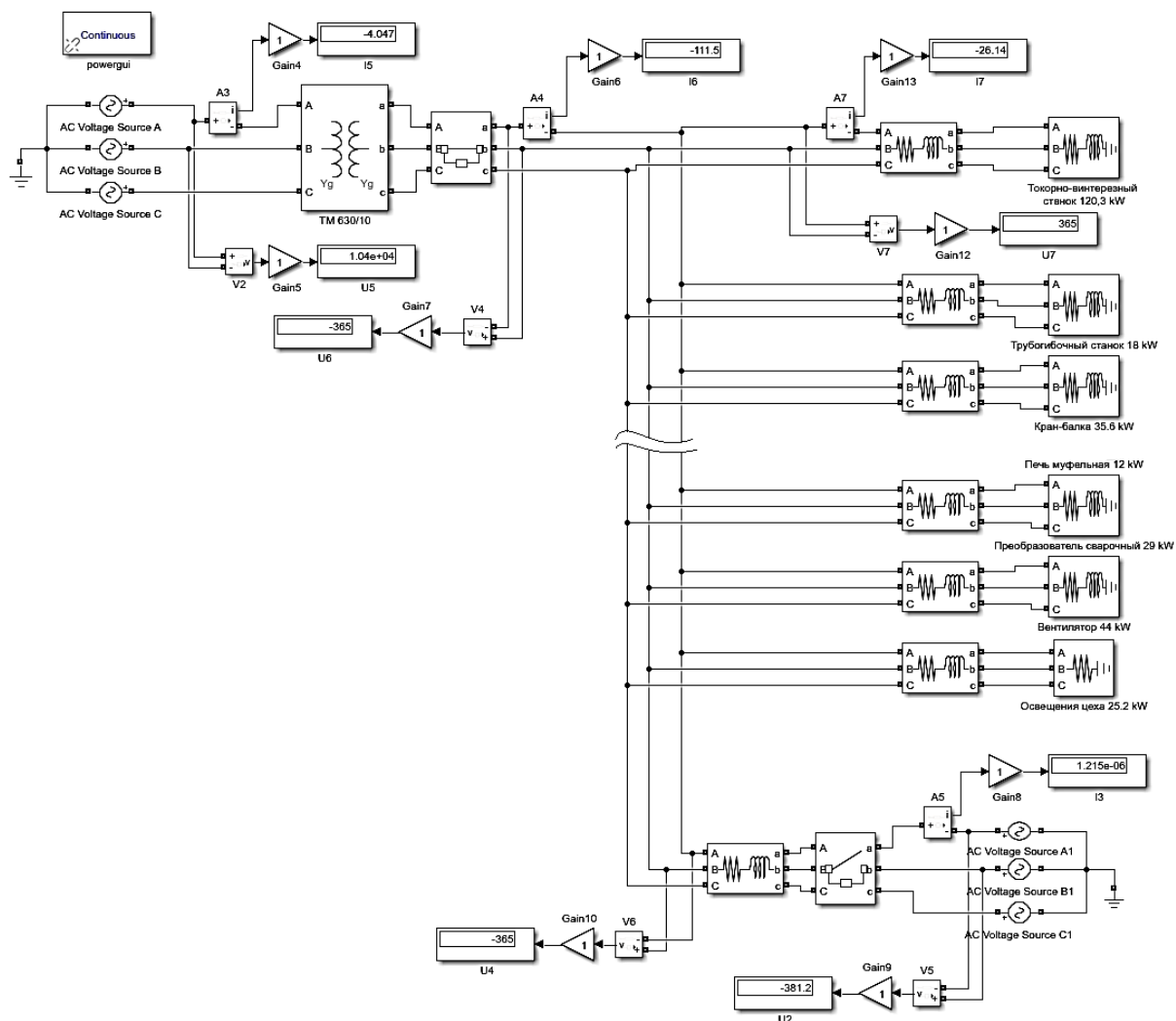


Рисунок 11 - Имитационная модель системы электроснабжения цеха 10/0,4 кВ.

Имитация процесса регулирования напряжения в разработанной модели осуществляется путем изменения коэффициента трансформации (соотношения первичного и вторичного напряжений) на трансформаторе 10/0,4 кВ [15].

В таблицы 25 приведена значения токов и напряжений (на шинах ТП 0,4 кВ), а также сдвиг фаз между током и напряжением.

Таблица 25 - Результаты исследования

$K_T = \frac{U_1}{U_2}$	Параметры	Шины ТП 0.4 кВ
30,7 – -10%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	329,9/97,58
30,36 – -9%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	332,8/98,46
30,03 – -8%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	336,3/100,3
29,71 – -7%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	339,7/102,3
29,39 – -6%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	343,6/103,4
29,08 – -5%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	347,7/103,9
28,78 – -4%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	350,6/104,6
28,48 – -3%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	354,5/105,7
28,19 – -2%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	358/107,6
27,91 – -1%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	361,7/109
27,63 – 0%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	366,8/107,3
27,36 – 1%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	369,6/108,3
27,08 – 2%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	373,1/110,3
26,83 – 3%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	376,1/113,2
26,56 – 4%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	379,9/114,3
26,31 – 5%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	383,4/116,2
26,06 – 6%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	386,6/116,4
25,82 – 7%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	390,4/117,5
25,58 – 8%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	394,3/118,6
25,35 – 9%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	398,1/119,7
25,11 – 10%	<i>I</i> , A/ <i>U</i> , В	401,9/121

На рисунке 12 показана зависимость тока и напряжения, измеренных на шинах ТП 0,4 кВ, от коэффициента трансформации.

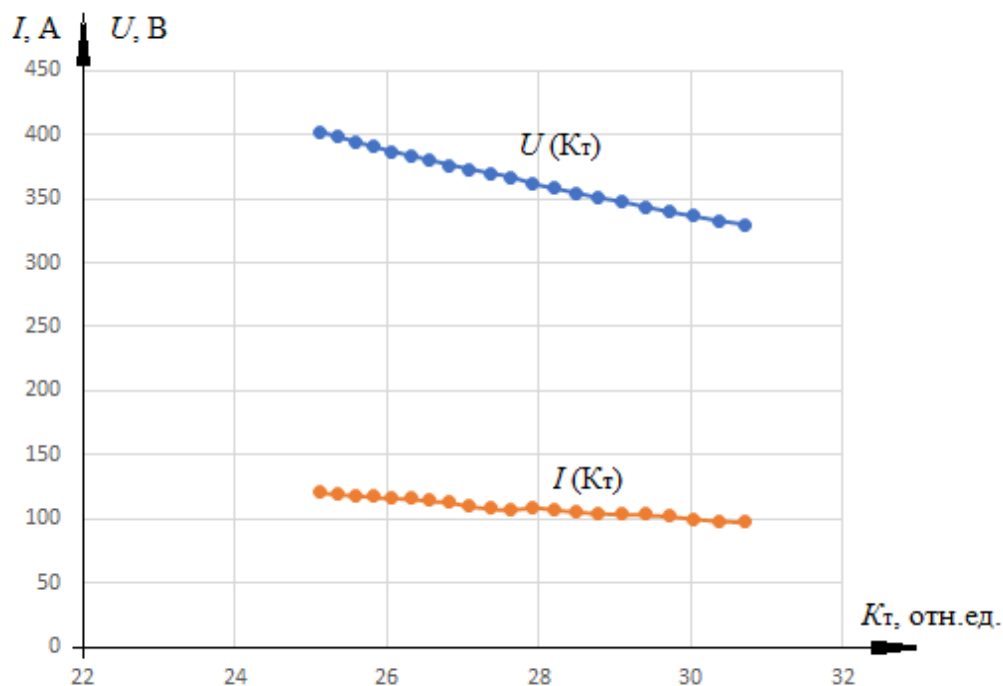


Рисунок 12 - Зависимость тока и напряжения, измеренных на шинах ТП 0,4 кВ, от коэффициента трансформации.

Анализ результатов процесса регулирования напряжения показал, что при изменении коэффициента трансформации в диапазоне $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ с шагом 1% величины отклонения напряжения на зажимах низковольтных и высоковольтных потребителей не превышают нормально-допустимых значений (регламентируемых ГОСТом 13109-97 [5]) на интервале от -6% до $+10\%$ от номинального напряжения (табл. 1). На остальном же диапазоне изменения коэффициента трансформации отклонение напряжения достигает величин, при которых работа электроприемников неэкономична.

2 – Этап: Исследуемая электрическая сеть напряжением 10/0,4 кВ (рис. 13) состоит из источника питания напряжением 10 кВ, трехпроводной кабельной линии напряжением 10 кВ (КЛ - 10 кВ), понижающего трехфазного трансформатора Т напряжением 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток Y_H / Y_H , четырехпроводной кабельной линии напряжением 0,4 кВ (КЛ - 0,4 кВ) и нагрузки потребителей в конце линии ЭП [14].

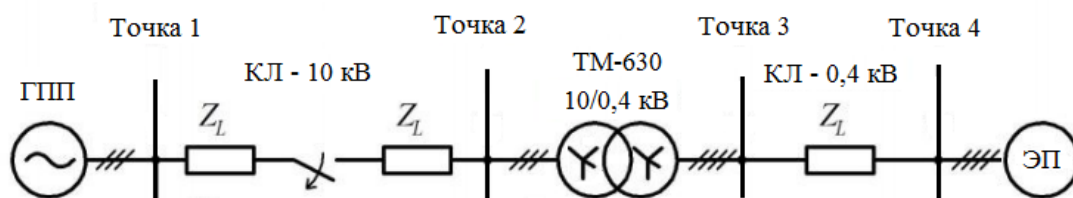


Рисунок 13 - Электрическая сеть напряжением 10/0,4 кВ.

При исследованиях обрыв фазного провода производится последовательно в фазе А, затем В и С. Это обеспечивает все возможные сочетания фаз оборванного провода КЛ-10 кВ с фазной несимметрией потребителей напряжением 380 В, поскольку наблюдается различие характеристик напряжений U_0 на отстающей и опережающей фазах по отношению к фазе, в которой происходит обрыв фазного провода [14].

Таким образом, исследования изменения напряжений проведены для 16 режимов работы электрической сети 10/0,4 кВ:

- нормальный режим (НР) работы КЛ-10 кВ при четырех вариантах нагрузки потребителей напряжением 0,4 кВ;
- поочередный обрыв провода фазы А, В или С КЛ-10 кВ (ОФА, ОФВ, ОФС), причем каждый раз при четырех вариантах нагрузки потребителей напряжением 0,4 кВ [14].

В таблице 26 представлена результаты исследований изменений напряжений нулевой U_0 последовательностей в четырех характерных точках электрической сети напряжением 10/0,4 кВ (рис. 13), полученные с помощью моделирования электроснабжения цеха в программной предложении Matlab Simulink. Напряжения представлены в вольтах (кВ): напряжение нулевой последовательности приведено к соответствующим фазным напряжениям, а напряжение обратной последовательности – к соответствующим линейным напряжениям, измеренным в четырех характерных точках при работе сети 10/0,4 кВ на холостом ходу, т.е. при отсутствии нагрузок потребителей, подключенных к КЛ-0,4 кВ [14].

Проведем анализ изменения напряжений.

Напряжение нулевой последовательности U_0

При нормальном режиме работы электрической сети 10/0,4 кВ:

– напряжение U_0 в сети 10 кВ (в точках 1 и 2; режимы 1–4) равно нулю;

– напряжение U_0 в сети 0,4 кВ (точки 3 и 4) при симметричной

нагрузке и на «холостом ходу» КЛ-0,4 кВ (режимы 1 и 4) равно нулю, а при наличии несимметрии нагрузки потребителей 0,4 кВ (режимы 2 и 3) составляет 0,2–14,7% фазного напряжения и обусловлено именно несимметрией фазных нагрузок потребителей напряжением 0,4 кВ.

В таблице 27 представлена изменения напряжений U_0 (кВ) в характерных точках электрической сети напряжением 10/0,4 кВ, полученные с помощью моделирования электроснабжения цеха в программной предложении Matlab Simulink. Результаты будем снимать в фазах В и С для всех точках и режимах.

Таблица 27 - Результаты исследования

Номер режима	Нагрузка по фазам, %			Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4
	P_A	P_B	P_C	U_0 (кВ)	U_0 (кВ)	U_0 (кВ)	U_0 (кВ)
1	100	100	100	10,3	10,3	0,365	0,353
2	0	100	100	10,3	10,3	0,369	0,349
3	0	0	100	10,3	10,3	0,376	0,190
4	0	0	0	10,3	10,3	0,387	0
Обрыв провода фазы А							
5	100	100	100	10,3	5,116	0,366	0,350
6	0	100	100	10,3	7,195	0,365	0,349
7	0	0	100	10,3	7,661	0,377	0,190
8	0	0	0	10,3	5,660	0,387	0
Обрыв провода фазы В							
9	100	100	100	10,3	5,114	0,197	0,188
10	0	100	100	10,3	7,197	0,199	0,190

Продолжение таблицы 27

11	0	0	100	10,3	7,664	0,288	0,190
12	0	0	0	10,3	5,664	0,277	0
Обрыв провода фазы С							
13	100	100	100	10,3	5,279	0,169	0,162
14	0	100	100	10,3	7,197	0,165	0,158
15	0	0	100	10,3	7,197	0,188	0
16	0	0	0	10,3	6,503	0,235	0

При обрыве фазного провода КЛ-10 кВ:

– напряжение U_0 в сети 10 кВ (в точке 1; режимы 1–16) не изменяется фазная напряжения;

– напряжение U_0 в сети 10 кВ (в точке 2; режимы 5 и 8, 9 и 12, 13 и 16) при симметричной нагрузке потребителей 380 В, а также «холостом ходе» КЛ-0,4 кВ становится равным половине фазного напряжения сети. В остальных режимах (7 и 8, 10 и 11, 14 и 15) на продольную несимметрию КЛ-10 кВ накладывается несимметрия фазных нагрузок потребителей сети 380 В;

– напряжение U_0 в точках 3 и 4 при обрыве фазного провода КЛ-10 кВ не меняется оно остается тем же, что и при нормальном режиме работы КЛ-10 кВ. Это подтверждает теоретические положения [8, 10, 11], что напряжение U_0 из сети 10 кВ, работающей с изолированной нейтралью, в сеть 380 В через понижающий трансформатор не проходит, независимо от схем соединения обмоток этого трансформатора. Наличие небольшого напряжения U_0 (в точке 4; режимы 6 и 7, 10 и 11, 14 и 15), равного 1,8–14,7% фазного напряжения, обусловлено несимметрией фазных нагрузок потребителей.

Проведенные исследования изменений напряжений нулевой последовательностей в различных точках электрической сети напряжением 10/0,4 кВ при обрыве фазного провода КЛ-10 кВ позволили получить их качественные и количественные характеристики, которые могут быть использованы при разработке устройств защиты. Анализ количественных

характеристик напряжения обратной последовательности показал, что его можно использовать в качестве информационного параметра при построении защит, которые могут быть установлены как в конце КЛ-10 кВ, так и на стороне низшего напряжения понижающего трансформатора 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток «звезда с нулем – звезда с нулем».

Устройство защиты при обрыве фазного провода КЛ-10 кВ предпочтительнее устанавливать на стороне низшего напряжения трансформатора напряжением 10/0,4 кВ. В сравнении с установкой устройства на стороне высшего напряжения трансформатора 10/0,4 кВ оно проще в использовании, менее затратно и наименее громоздко.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ И СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

4.1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели в данном разделе рассмотрены следующие задачи:

- составление SWOT-анализа работы ремонтно-механического цеха;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

4.1.1. SWOT-анализ работы ремонтно-механического цеха

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов [16].

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (табл. 28).

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы;

Таблица 28 – Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	С1: Низкая цена элементов схемы С2: Высокая надёжность электроснабжения потребителей С3: Высокая эргономичность С4: Низкая материалоемкость С5: Высокая ремонтпригодность	Сл1. Надежность электроснабжения Сл2. Доступность токоведущих частей Сл3: Низкая безопасность Сл4: Низкая энергоэффективность
Возможности		
В1: Прокладка кабелей в эстакадах В2: Снижение расходов на используемое оборудование В3: Повышение стоимости конкурентных разработок В4: Растущая заинтересованность инвесторов	В1С1; С3; С5; В2С1; В3С1; В4С1;	В1Сл1; Сл2; Сл3; В4Сл3; Сл4;
Угрозы		
У1: Значительное увеличение стоимости схемы У2: Повышение цен на компоненты системы У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса	У1С1 У2С1; С4;	У3Сл3; Сл4; У4Сл2; Сл3; Сл4;

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением

знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие). Результаты второго этапа SWOT анализа представлены в табл. 29-30.

Таблица 29 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	-	+	-	+
	B2	+	-	-	-	-
	B3	+	-	-	-	-
	B4	+	-	-	-	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
	B1	+	+	+	-	
	B2	-	-	-	-	
	B3	-	-	-	-	
	B4	-	-	+	+	

Таблица 30 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	-	-	-
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
	У1	-	-	-	-	
	У2	-	-	-	-	
	У3	-	-	+	+	
	У4	-	+	+	+	

После проведения SWOT-анализа и на основании его результатов можно сказать:

– Риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;

– Слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы;

– Для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации сети электроснабжения, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;

– Кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны схемы, такие как экономичность, надёжность и эргономика;

– Прокладка кабелей в эстакадах – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;

– За счёт модификации схемы, а именно использования такого способа прокладки кабелей, как прокладка в эстакадах, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкая безопасность;

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что прокладка в эстакадах позволит получить наибольшую отдачу от данного проекта. Благодаря прогрессирующим разработкам в области электроэнергетики и электротехники, совершенствованию конструкций аппаратуры и энергоэффективности материалов негативные факторы могут быть минимизированы.

4.1.2. Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

— определение структуры работ в рамках технического проектирования;

— определение участников каждой работы;

— установление продолжительности работ;

— построение графика проведения проектирования системы электроснабжения РМЦ.

4.1.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 31:

№ 1 – составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 –Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№ 4 – Проектирование системы внутризаводского электроснабжения – выбор конфигурации схемы электроснабжения, расчет суммарных электрических нагрузок, выбор высоковольтного оборудования;

№ 5 – Проектирование системы внутрицехового электроснабжения – расчет нагрузок по цеху с учетом загруженности всех электроприемников, выбор защитной аппаратуры;

№ 6 – Проведение графических построений – построение схемы внутризаводского электроснабжения с расчетом и нанесением картограммы нагрузок по заводу, построение схемы внутрицехового электроснабжения.

№ 7 - Моделирование электроснабжения РМЦ – создать модель электроснабжения ремонтно-механического цеха инструментального завода в программной среде Matlab Simulink и проверить активный и реактивный мощности с нагрузки и без нагрузки.

№ 8 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 9 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 10 - Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№ 11– Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации и ответного слова, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 31 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование системы электроснабжения РМЦ	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник
	4	Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	Дипломник, научный руководитель
	5	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Дипломник, научный руководитель
	6	Проведение графических построений	
	7	Моделирование электроснабжения РМЦ	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Составление пояснительной записки	Дипломник
	10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	11	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, Научный руководитель

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирования завода, расчеты и проектирование системы электроснабжения РМЦ, обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 11 работ.

4.1.2.2. Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [16]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

4.1.2.3. Порядок составления этапов подготовки производства и распределение исполнителей

В таблице 32 представлены порядок перечень этапов, временные показатели проведения работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта.

Таблица 32 – Календарная продолжительность работ

Название работы	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (t_{min}) чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы (t_{max}) чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы ($t_{ож}$) чел.-дн.
Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	1	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	2	4	3
Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	22	28	25
Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	20	25	22
Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	17	20	18
Проведение графических построений	Дипломник	1	3	2
Моделирование электроснабжения РМЦ	Научный руководитель	1	3	2
	Дипломник	14	17	15
Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель	1	1	1
	Дипломник	3	8	5
Составление пояснительной записки	Дипломник	5	12	8

Продолжение таблицы 32

Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель	1	1	1
Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Научный руководитель	1	3	2
	Дипломник	2	4	3

4.1.2.4. Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.[16]

В результате построения ленточного графика проведения технического проекта в диаграмме Ганта, был наглядно и детально представлен перечень этапов, работ и распределение обязанностей между исполнителями проекта. Данный ленточный график достаточно удобен в построении, прост в прочтении и наглядно отражает затраченное время этапы работы.

Общая продолжительность выполнения расчетов составила 111 рабочих дней. Из них:

101 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

10 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

4.1.3. Расчёт затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его

выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

4.1.3.1. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

В смету проекта включаются затраты на финансирование деятельности исполнителей: заработная плата исполнители, отчисления во внебюджетные фонды, а также накладные расходы. Для расчета сметы затрат необходимо найти полную заработную плату.

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $З_{полн}$ – полная заработная плата;

$З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.

T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{M},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.

$Z_{p.k.}$ – районная доплата, руб., районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

M – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе) раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 33.

Таблица 33 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке ($Z_{тс}$), т.р.	Районная доплата ($Z_{p.k.}$) т.р.	Месячная заработная плата (Z_m) т.р.	Среднедневная заработная плата ($Z_{дн}$) т.р.	Продолжительность работ, выполняемых работником (T_p) раб.дн.	Основная заработная плата ($Z_{осн}$) т.р.
Науч. рук-тель	29,6	8,88	38,48	1,480	10	14,8
Дипломник	11,7	3,51	15,21	0,585	101	59,1
Итого $Z_{осн}$ т.р.						83,2

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 34.

Таблица 34 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{доп}$)	Основная заработная плата ($Z_{осн}$) т.р.	Дополнительная заработная плата ($Z_{доп}$) т.р.	Полная заработная плата ($Z_{полн}$) т.р.
Науч. рук-тель	0,15	14,8	2,2	17,0
Дипломник	0,12	59,1	7,1	66,2
Итого $Z_{полн}$, т.р.		73,9	9,3	83,2

4.1.3.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{дон})$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 83,2 = 25,1 \text{ т.р.}$$

4.1.3.3. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: амортизация активам, расходы, связанные с рекламой и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат проектирование.

4.1.3.4. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 35.

Таблица 35 – Смета затрат технического проекта

Наименование раздела	Сумма, тыс. руб.	Структур затрат, %
1. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	83,2	64,7
2. Отчисления во внебюджетные фонды	25,1	19,3
3. Накладные расходы	20,7	16
4. Итого	130,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана общая продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 101 раб. дней для дипломника и 10 раб. дней для научный руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 130,0 тыс.руб, из которых более половины (64,7 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

4.1.3.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиями к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Эргономичность: оптимальная условия труда с целью увеличения производительности и сохранения сил, времени, энергии, работоспособность и здоровья человека;

2. Ремонтопригодность: долговечности и увеличения срок эксплуатации электроустановки;

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97;

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии;

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 36.

Таблица 36 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Эргономичность	0,17	5
2. Ремонтопригодность	0,12	4
3. Безопасность	0,15	5
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	5
5. Надежность	0,15	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,05	4
7. Энергоэффективность	0,18	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,17 + 4 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,18 = 4,83$$

Значение показателя ресурсоэффективности проекта получилось достаточно высоким. Это говорит об эффективности использования технического проекта. В результате выполнения поставленных задач по данному техническому проекту, можно сделать следующие выводы:

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства. Далее было произведено планирование технического проекта, в рамках которого определен перечень этапов выполнения работ, определена трудоемкость выполнения каждого этапа, и в итоге построен диаграмма Ганта. На основе построенного план-графика и должностных окладов исполнителей темы была рассчитана полная заработная плата научного руководителя и дипломника; отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы. Из расчета сметы следует, что для разработки и реализации технического проекта предприятию необходимо 130,0 тыс. руб.

4.2. Социальная ответственность

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: повышение уровня шума, вибрации, превышение электромагнитных и ионизирующих излучений, ухудшение показателей микроклимата. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.2.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.2.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 - ФЗ работник аудитории 130, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

4.2.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место в аудитории 130, 8 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 х 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 130, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

4.2.2. Производственная безопасность

Разрабатывать модель электроснабжения механического цеха подразумевает использование электронной вычислительной машины (ЭВМ) и программная приложения Matlab Simulink, с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при выполнении расчетов и разработке модели электроснабжения цеха или работе с ЭВМ, а также требования по организации рабочего места.

4.2.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [19]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы:

Таблица 37 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	1. Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[22]; 2. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [23]; 3. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [24]; 4. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [25]; 5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [34].
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте	+	+	+	
3. Неудовлетворительный микроклимат	+	+		
4. Повышенный уровень напряженности электростатического поля	+	+		
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.		+	+	

4.2.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При разработке модели электроснабжение механического цеха в аудитории 130, 8 корпуса ТПУ, основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является ЭВМ, возможность поражения электрическим током.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы":

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке [21].

Электробезопасность:

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 130, 8 корпуса ТПУ, оборудование должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации [31]. Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия: 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением; 2) проведение инструктажей и допуск к работе; 3) надзор во время работы. Уровень напряжения для питания ЭВМ в данной аудитории 220 В. По опасности поражения электрическим током помещение 130, 8 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%) [31].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

Не следует размещать рабочие места с ЭВМ вблизи силовых кабелей, технологического оборудования, создающего помехи в работе ЭВМ [21].

Освещение:

В аудитории 130, 8 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В аудитории 130, 8 корпуса, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [22]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [22].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения) [22].

Таблица 38 - Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [22]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности, и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дисконтности, не более	Коэффициент пульсации K_p , %, не более
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении			
Кабинеты	Г-0,0	3,0	1,0	1,8	0,6	300	-	$\leq 5\%$ (работа с ЭВМ) $\leq 20\%$ (при работе с документацией)

Согласно [32] освещение в аудитории 130 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

Шум

При работе с ЭВМ в аудитории 130, 8 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы.

Таблица 39 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест [23]

N пп.	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Согласно [24] уровень шума в аудитории 130, 8 корпуса ТПУ не более 80 дБА и соответствует нормам.

Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 130, 8 корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Аудитория 130, 8 корпуса ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) [24]

Таблица 40 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Катег. работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 41 - Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно [32] микроклимат аудитории 130, 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

4.2.3. Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия ЭВМ на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

2.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В данной выпускной классификационная работа выполняется в программной приложении Matlab Simulink и не наносит вреда окружающей среде. С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть влияние ЭВМ при его утилизации.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы [35]. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.
2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.

3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.

4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

6. Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах. [35]

4.2.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.2.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС – это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя модель электроснабжения механического цеха в программной приложении Matlab Simulink, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с ЭВМ. В комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в компьютерной комнате.

- Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости компьютерной комнате должен быть следующим: перегородки - не менее EI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.

- Помещение компьютерной комнате должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении компьютерной комнате организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

- При разработке проекта компьютерной комнате необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

- Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

4.2.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 130, 8 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.
- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;

– обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 130, 8 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 42 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 43 - Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации. План эвакуации людей на случай пожара приложена в приложение.

Вывод по разделу

В подразделе правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, рассмотрел специальные для работы компьютерные классы правовые нормы трудового законодательства. Указал особенности трудового законодательства применительно к конкретным условиям проекта.

В пункте производственная безопасность, анализировал вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в компьютерных классах, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Для идентификации потенциальных факторов использовал ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для исследование научно-технической работы представил в виде таблицы.

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-

техническая документация, а также разработка математической модели с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

В пункте безопасность в чрезвычайных ситуациях, проводил краткий анализ возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации проектируемого решения.

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ

1 этаж



Рисунок 14 - План эвакуации людей на случай пожара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы была спроектирована система электроснабжения ремонтно-механического цеха инструментального завода.

На первых этапах работы были определены: расчетная нагрузка ремонтно-механического цеха с учетом освещения методом коэффициента расчетной мощности; полная нагрузка цехов с учетом освещения и высоковольтной нагрузки методом коэффициента спроса; суммарная расчетная нагрузка предприятия с учетом потерь в трансформаторах ГПП и высоковольтных линиях.

Результаты расчета нагрузок были использованы для построения картограммы электрических нагрузок завода и изображена в Приложении 2, ГПП вынесена в зону рассеяния, т.к. расположение ГПП в центре электрических нагрузок невозможно.

На следующем этапе был произведен выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП. Из-за неравномерного распределения мощности по предприятию и невозможности обеспечения требуемой категории по надёжности электроснабжения будем использовать трансформаторы с номинальной мощностью марок ТМ-630/10, ТМ-1000/10, которые распределены по четыре трансформаторным подстанциям.

Предприятие относится к потребителям II категории по степени надежности электроснабжения. Поэтому снабжение электроэнергией предприятия осуществляется от подстанции энергосистемы, которая располагается в 9 километрах от предприятия, на напряжении 35 кВ двухцепной воздушной линией с проводами марки АС-70/11. На ГПП были установлены два трансформатора марки ТДН-6300/35. В качестве схемы ГПП была выбрана схема 4Н – два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии.

При проектировании электроснабжения ремонтно-механического цеха выбраны комплектные шинопроводы, защитная аппаратура, питание каждого электроприемника осуществляется кабелем марки ААШв.

Рассчитаны токи трехфазного короткого замыкания, которые сведены в таблицу 17.

Проведены исследования модели системы электроснабжения 10/0,4 кВ в Matlab Simulink, получили следующие результаты: изменения напряжений нулевой последовательностей в различных точках электрической сети напряжением 10/0,4 кВ при обрыве фазного провода КЛ-10 кВ позволили получить их качественные и количественные характеристики, которые могут быть использованы при разработке устройств защиты; при изменении коэффициента трансформации в диапазоне $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ с шагом 1%, получили нормально-допустимых значений на интервале от -6% до $+10\%$ от номинального напряжения. Анализ количественных характеристик напряжения обратной последовательности показал, что его можно использовать в качестве информационного параметра при построении защит, которые могут быть установлены как в конце КЛ-10 кВ, так и на стороне низшего напряжения понижающего трансформатора 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток «звезда с нулем – звезда с нулем».

В разделе финансовой менеджмент можно сделать следующие выводы:

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,83 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В разделе социальная ответственность проанализированы опасные и вредные факторы, оказывающие воздействие на человека при работе с ЭВМ и исследовании методов качества электроснабжения. Решены вопросы обеспечения защиты от опасных и вредных факторов на основе требований действующих нормативно-технических документов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Учебное пособие и справочные материалы для курсового и дипломного проектирования – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 248 с.
2. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 288 с.
3. Правила устройства электроустановок - 7 изд. Сибирское университетское издательство, 2011.
4. Вакуумные выключатели ВВ/TEL среднего класса напряжения 6 – 20 кВ. Каталог «Таврида Электрик», 2016. – 16 с.
5. Категории электроснабжения потребителей [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/1866-kategorii-jelektrosnabzhenija.html> – 25.04.2019 г.
6. Пункты распределительные ПР11. Номенклатурный каталог «Стандарт Энерго», 2016. – 8 с.
7. Низковольтные автоматические выключатели: учебное пособие / А.В. Кабышев, Е.В. Тарасов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 346 с.
8. Вводно-распределительные устройства серии ВРУ-1 ГОСТ Р 51321.1-2000. Каталог «Стандарт Энерго», - 2013. – 51 с.
9. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания – Томск: Изд-во ТПУ, 2013, - 120 с.
10. Мельников М. А. Внутривзаводское электроснабжение: Учебное пособие –Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
11. Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 352 с.: ил.

12. Г.Н. Климова, А.В. Кабышев. Элементы энергосбережения в электроснабжении промышленных предприятий: учебное пособие/ – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 189 с.
13. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под общей редакцией А.А. Федорова – Москва: Энергоатомиздат, 1986.
14. Моделирование системы обеспечения электробезопасности при обрыве одной из фаз. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35585301> – 5.04.2019 г.
15. Моделирование системы электроснабжения с питанием группы потребителей от трансформатора с тиристорным регулятором напряжения и мощности. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21061683> – 12.04.2019 г.
16. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Томск: ТПУ, 2014. – 37 с.
17. Фатхутдинов Р. А. Производственный менеджмент: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб: 2003. – 491 с.
18. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ, Томск 2019
19. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015
20. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003
21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003
22. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
23. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
24. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

25. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
26. Системы противопожарной защиты УСТАНОВКИ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИЕ, 2009
27. НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003
28. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)
29. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя, 2017
30. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Седьмое издание, 2002
31. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
32. Специальная оценка условий труда в ТПУ. 2018.
33. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
34. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
35. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009.

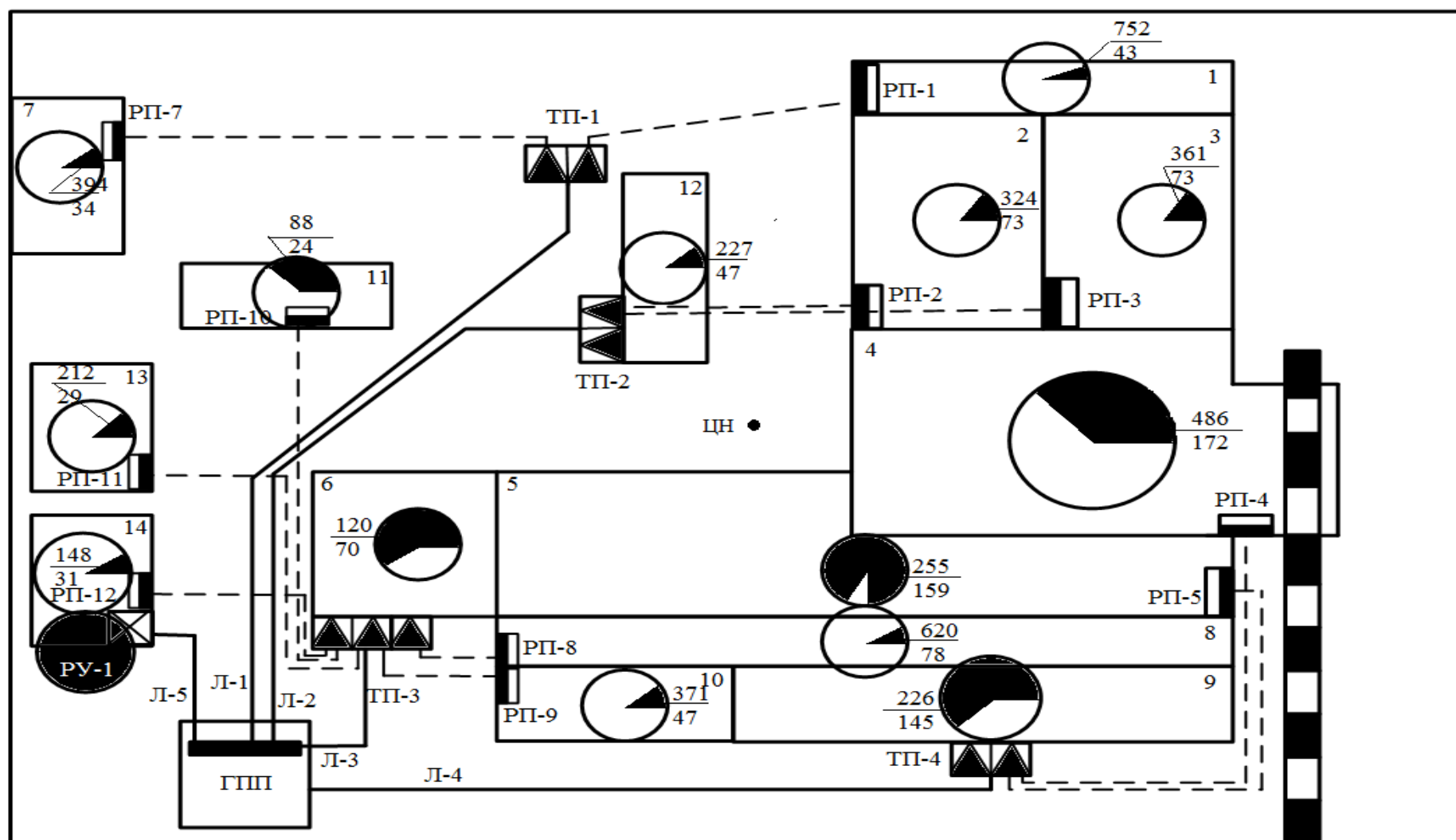


Рисунок 15- Картограмма предприятия

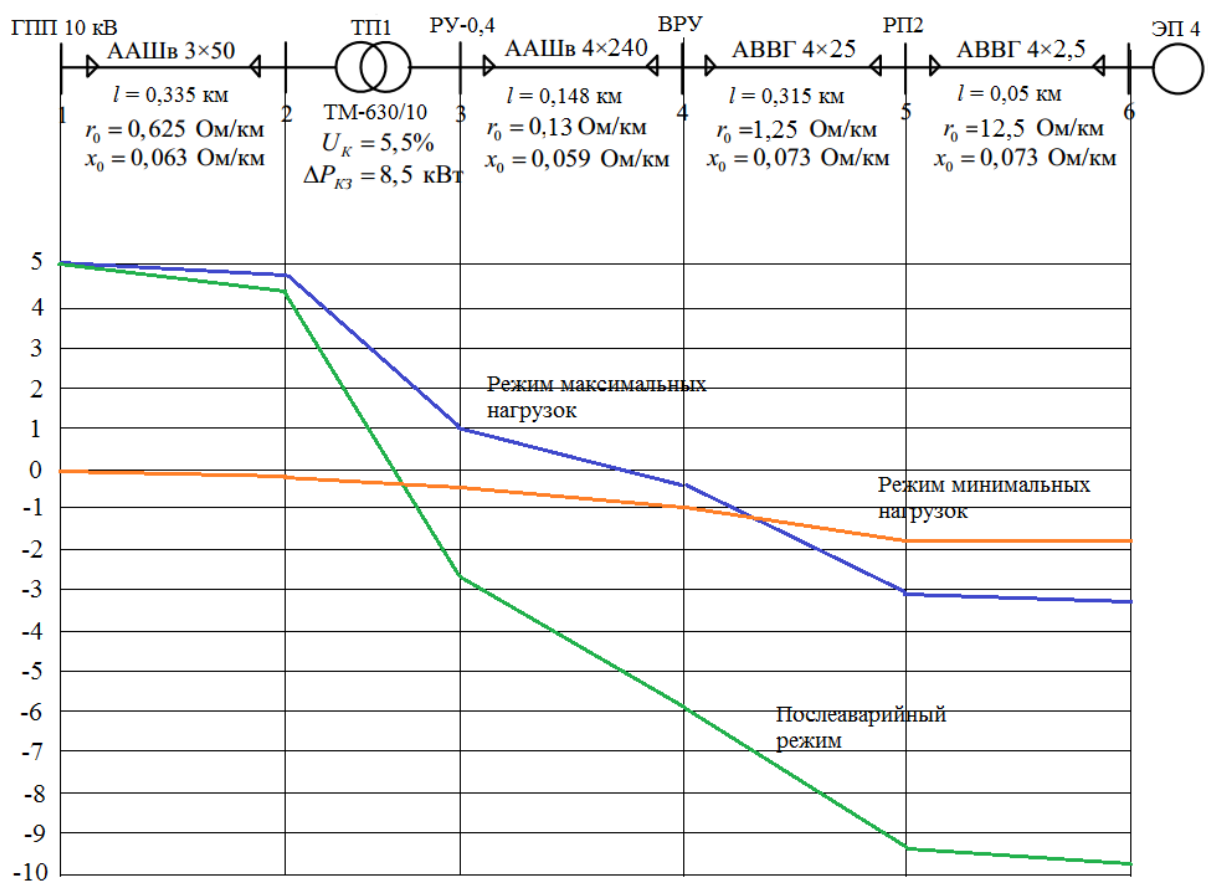


Рисунок 16 - Эпюры напряжения

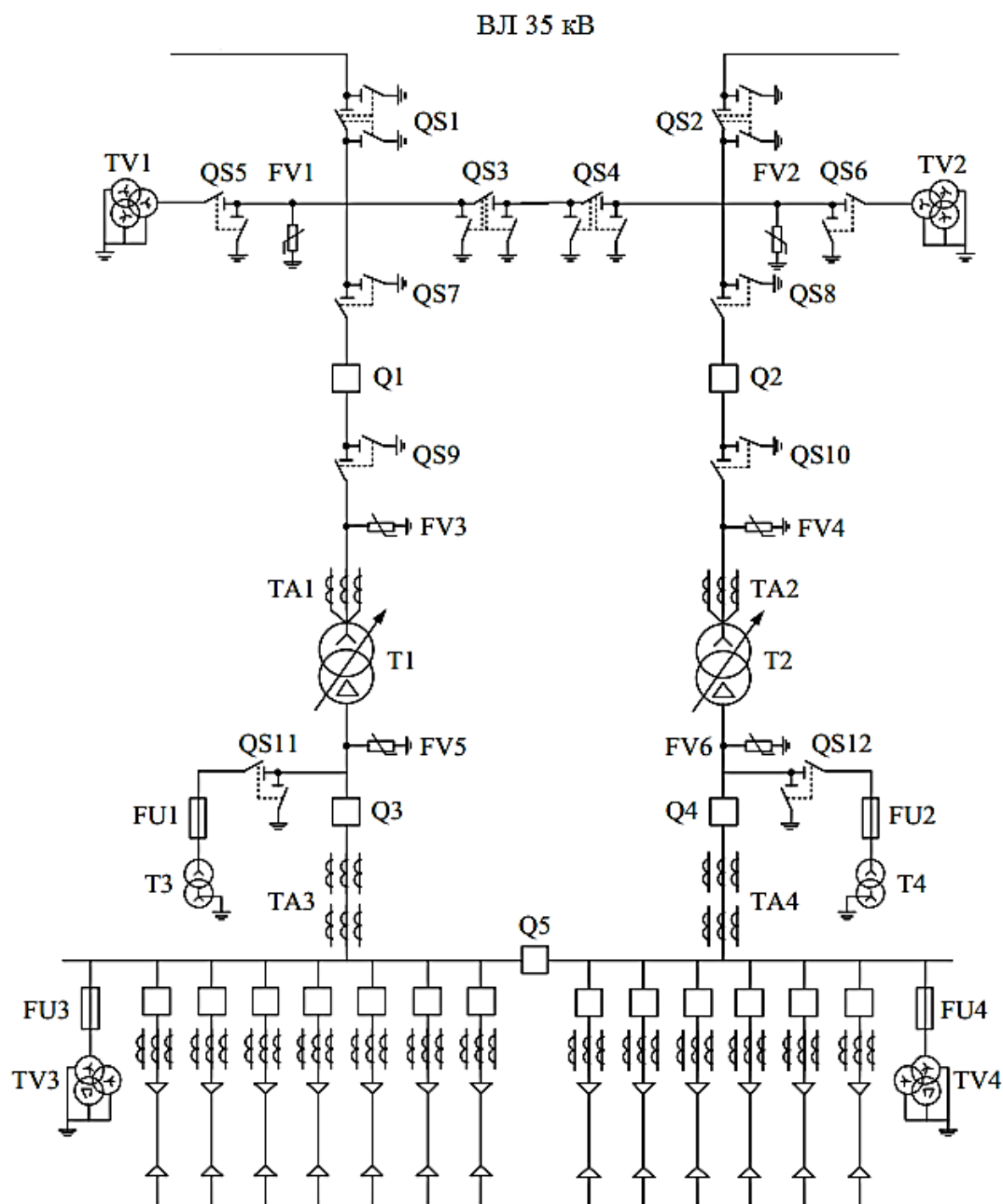


Рисунок 17 – Однолинейная схема завода